SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

MICROBIOTES

Comment renforcer notre immunité p. 22

© PHOTOMONTAGE SETA GETTY IMAGES/ISTOCKPHOTO/SPL - NASA - LUIS ACOSTA/AFP

SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 890 - AVRIL 2021 - MICROBIOTE : COMMENT RENFORCER NOTRE IMMUNITÉ

AVRIL 2021 - N° 890 - ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,50 € / ITALIE 5,70 € / LUXEMBOURG 5,70 € / GRÈCE 5,70 € / BELGIQUE 5,70 € / ESPAGNE 5,70 € / DOM 5,90 € / DOM-AVION 7,90 € / ANDORRE 5,40 € / PORTUGAL 5,70 € / TOM 800 XPF / ILE MAURICE : 8,60€ / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 9,50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8,20 $

L 13418 - 890 S - F: 5,30 € - RD

Propulsion gravitationnelle

LES AUTOROUTES DE L'ESPACE p. 34

LES BALEINES, GARDIENNES DU CLIMAT p. 48

mgen

GROUPE vyv

MA SANTÉ, C'EST SÉRIEUX.

J'AI CHOISI MGEN

MUTUELLE SANTÉ - PRÉVOYANCE

Perrine Laffont a choisi MGEN pour son action en faveur du sport et de la santé. MGEN une protection santé performante et d'authentiques valeurs de solidarité.

www.antigel.agency - 01974 - mars 2021 - © Hervé Thouroude - Document publicitaire n'ayant pas de valeur contractuelle.

PERRINE LAFFONT

CHAMPIONNE OLYMPIQUE DE SKI DE BOSSES,
3 FOIS VICTORIEUSE DE LA COUPE DU MONDE

MGEN, Mutuelle Générale de l'Éducation Nationale, immatriculée sous le numéro SIREN 775 685 399, MGEN Vie, immatriculée sous le numéro SIREN 441 922 002, MGEN Filia, immatriculée sous le numéro SIREN 440 363 588, mutuelles soumises aux dispositions du livre II du Code de la mutualité. MGEN Action sanitaire et sociale, immatriculée sous le numéro SIREN 441 921 913, MGEN Centres de santé, immatriculée sous le numéro SIREN 477 901 714, mutuelles soumises aux dispositions du livre III du Code de la mutualité. Siège social : 3 square Max-Hymans -75748 Paris CEDEX 15.

ÉDITORIAL

Dominique Leglu
Directrice éditoriale

BERNARD MARTINEZ

Serment d'intégrité

Il y avait le serment d'Hippocrate, il y aura désormais le serment d'intégrité scientifique. Il est possible que l'annonce de cet instant de solennité, nouveau au royaume de la science, vous ait échappé, la loi de programmation de la recherche ayant été publiée au *Journal officiel* le...
24 décembre 2020. Mais préparatifs de Noël ou pas, nul n'est censé ignorer la(dite) loi. À l'article 18, elle spécifie ainsi que toute personne ayant achevé une thèse devra, *« à l'issue de la soutenance, prêter serment en s'engageant à respecter les principes et les exigences de l'intégrité scientifique »*. Bigre !

En science, l'honnêteté et la rigueur dans l'activité de recherche ne seraient-elles plus respectées ? Surtout par les nouveaux entrants ? Il faut croire que les temps actuels sont troublés. Car un rapport vient aussi de sortir sur le sujet, au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Promouvoir et protéger une culture partagée de l'intégrité scientifique, tel est l'intitulé des 134 pages que le député Pierre Henriet et le sénateur Pierre Ouzoulias ont présentées le 4 mars au Palais-Bourbon. C'est dire leurs craintes.

Le député mathématicien Cédric Villani, qui préside l'OPECST, mieux connu des lecteurs de *Sciences et Avenir* sous l'étiquette de scientifique et médaille Fields, n'hésite pas, lui, à déplorer « de plus en plus de cas de méconduites ». En tant qu'ex-scientifique, nous avouerons ici notre perplexité. Pourquoi choisir une noble activité où règnent les maîtres mots de vérité, véracité, preuve, méthode, maîtrise, des faits, rien que des faits... si c'est, *in fine*, pour frauder ? Ne soyons pas naïfs.
La pression pour publier est terrible ! Comment résister à la tentation ? Stigmatisée depuis des années par l'expression « publier ou périr », la dérive se traduit par une multiplication d'articles apportant la preuve d'intéressants résultats de laboratoire ou sur le terrain. On appelle cela saucissonnage. Les magazines et sites Web comme ceux de *Sciences et Avenir-La Recherche*, qui vont aussi chercher leurs sources chez les scientifiques, ont dû apprendre à s'en méfier comme de la peste.

À l'arrivée, le fraudeur qui a manipulé ses données, embelli ses illustrations, saucissonné ses articles et trompé ses pairs... verra son nombre de citations accru, et donc sa visibilité, comme celle de son laboratoire, quand ce n'est pas celle de toute l'université ou son institution, voire du pays tout entier. Voilà qui aide aussi aux levées de fonds, à l'obtention de bourses et autres contrats. Sauf que tricher peut écorner cette belle réputation internationale, alors même que « l'immense majorité des chercheurs est vertueuse », assure le rapport parlementaire. Ici, tricher n'est pas jouer comme dans une fiction de Marcel Carné, avec sentiments exaltés. C'est la réalité d'une compétition mondiale exacerbée, où la raison ne doit pas être rudoyée.
L'inscription dans la loi de l'intégrité scientifique aidera-t-elle vraiment à résister ? ■ @dominiqueleglu

COURRIER

Les promesses de l'hydrogène
(*Sciences et Avenir - La Recherche* n° 889, mars 2021)

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

Lecteur assidu de votre publication depuis de longues années, j'ai été très étonné par l'article sur l'hydrogène, qui propose cette solution pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, à condition d'utiliser une énergie verte pour le produire. Si cette énergie verte est utilisée pour produire de l'hydrogène, elle ne sera pas disponible pour remplacer les énergies fossiles, où est alors l'intérêt ?

André Tillier

S. et A. : Dans notre dossier sur l'hydrogène, nous expliquons à la page 30 que l'hydrogène « vert » est fabriqué à partir des excédents produits par les énergies renouvelables, lors de forts coups de vent sur les champs d'éoliennes, par exemple. Nous n'avons pas d'autre moyen aujourd'hui de stocker ces surplus sinon de produire de l'hydrogène. Certes, le rendement n'est pas encore très bon (28 %). Mais sans ce stockage, ces excédents d'énergie « verte » seraient de toute façon perdus.

De l'hydrogène dans les voitures ?

Votre dossier expose les ambitions françaises pour développer la filière hydrogène dans les transports. La comparaison entre le véhicule à hydrogène et le véhicule électrique fait réfléchir : si l'avantage peut se concevoir en ce qui concerne les transports en commun et le fret routier, il est à mon sens moins évident pour les véhicules particuliers. L'approvisionnement des stations sera un problème à résoudre. Mais l'essentiel n'est pas là. Pourquoi vouloir mettre de l'hydrogène dans un véhicule, avec le problème de stockage que cela représente ? Un véhicule à hydrogène n'est ni plus ni moins qu'une voiture électrique tirant son énergie de l'hydrogène au lieu de le tirer d'une batterie que l'on a préalablement chargée. Alors où est l'avantage : L'autonomie ? Le temps pour recharger le véhicule ? Les progrès réalisés sur les batteries (batterie sèche, au carbone, au graphène...) vont les rendre de plus en plus « propres » et permettront d'ici peu des autonomies comparables à celles des voitures thermiques. L'investissement réalisé sur l'hydrogène ne serait-il pas plus judicieux sur le développement d'un réseau de super-chargeurs ?

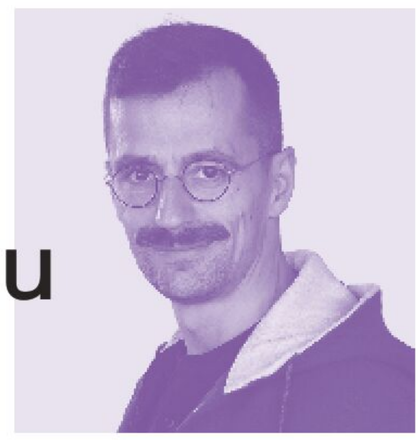
Bruno Bourga

S. et A. : Comme il est dit dans l'article, il ne faut pas opposer véhicules à batterie et à hydrogène. Les deux technologies sont complémentaires. L'hydrogène est en effet plus adapté aux véhicules lourds qui nécessitent beaucoup de puissance, ce qui pose rapidement un problème de poids des batteries. Pour ce qui concerne l'automobile, il faudra encore attendre que le réseau de distribution se développe pour que l'hydrogène se généralise. Les avantages vis-à-vis des batteries sont effectivement l'autonomie et le temps de charge.

Erratum

Dans le schéma de la pile à combustible du dossier sur l'hydrogène (*S. et A.* n° 889), p. 33 : la flèche indiquant le sens de circulation de l'oxygène ne va pas dans la bonne direction. Comme l'oxygène est consommé, il doit entrer dans la pile et non en sortir.

Nous sommes composés de 65% d'eau et de 35 % de questions.



© Radio France/Ch. Abramowitz

LA MÉTHODE SCIENTIFIQUE
DU LUNDI AU VENDREDI
16H00

NICOLAS MARTIN

franceculture.fr/ @Franceculture

En partenariat avec SCIENCES ET AVENIR La Recherche

france culture
L'esprit d'ouverture.

SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice éditoriale Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
Directrice des rédactions Carole CHATELAIN - 01.55.35.56.57
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Rédacteurs en chef Mathieu NOWAK (mensuel) - 01.55.35.56.38
Philippe PAJOT (La Recherche) - 01.70.98.19.29
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (digital) - 01.55.35.56.15
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Conseillère auprès de la direction de la rédaction
Rachel MULOT (cheffe de services enquêtes) - 01.55.35.56.07
Chef de service adjoint Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Hugo JALINIÈRE (actualités, médecine) - 01.55.35.56.52
Rédaction Bernadette ARNAUD grande reporteure
(archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78
Arnaud DEVILLARD (numérique, data) - 01.55.35.56.27
Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU,
Johan KIEKEN, Fabrice NICOT
Chroniqueurs A. Alvarez, Jean-Gabriel Ganascia, Céline Guivarch
Ont participé à ce numéro Pierre KALDY, H. SCHOEFS
Secrétaire de rédaction
Frank MIETTON (1er secrétaire) - 01.55.35.56.17
Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41
Pôle digital
Marine BENOIT (fondamental, archéologie) - 01.55.35.56.23
Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) -
01.55.35.56.70 - Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24
Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15
Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux
Jessica RIOS - cheffe de projet digital
Documentation
Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48
Courrier des lecteurs
Sara De Lacerda - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14
Fabrication Christophe Perrusson
Publicité MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002
Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 -
assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70
Directeur délégué Philippe Léonard - 01.44.88.89.18
Directeur de publicité Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Directrice de clientèle et responsable Web
Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08
Assistante commerciale Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57
Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : Claude PERDRIEL
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL
Multimédia Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007
Paris. - Tél. : 0155355600

Abonnements et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du
Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr
Tarif des abonnements : France, 1 an simple
(12 numéros dont un double) : 35 €. 1 an complet
(12 numéros dont un double + 4 hors-séries) :
48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique :
Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse :
Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Origine du papier : Italie - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,017 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
PEFC 10-31-1557
pefc-france.org

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte un message « Historia » jeté sur couverture sur une partie de la diffusion abonnés, ainsi qu'un encart « Sophia Boutique-montre » jeté sur couverture sur toute la diffusion abonnés. Commission paritaire n° 0625 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.

ÉDITO

BERNARD MARTINEZ

Carole Chatelain
Directrice de la rédaction

Soignons nos microbiotes

C'est une jungle qui colonise quasiment tout notre organisme : plus de 10 000 milliards de bactéries élisent domicile dans notre corps, à savoir sur notre peau, dans notre nez, notre bouche, nos organes génitaux et, bien sûr, notre système digestif. Et ces deux kilos de micro-organismes hébergés par chacun d'entre nous constituent l'un des domaines les plus foisonnants de la recherche ! Y compris pour des pathologies qui — telle la maladie d'Alzheimer — nous semblent si éloignées de ce petit monde bactérien. Et pourtant ! Nous avions été les premiers, en juin 2012, à titrer « Le ventre : notre deuxième cerveau » (n° 784). Depuis, le nombre d'études sur les microbiotes — le pluriel a son importance — a explosé : plus de 20 000 en 2020 contre quatre fois moins six ans plus tôt. Toutes ne cessent de montrer l'efficacité de ces indispensables alliés. Car *Bacteroidetes*, *Firmicutes* et autres fusobactéries sont aussi nécessaires au maintien de notre santé que l'oxygène l'est à notre respiration : qu'un déséquilibre s'opère et c'est la porte ouverte aux intrus, ces virus et autres pathogènes partis aussitôt à l'assaut de notre forteresse interne, y compris ce bunker qu'est notre cerveau. Avec minutie et sans entretenir de faux espoirs, nos journalistes Hugo Jalinière, Coralie Lemke, Hervé Ratel et Sylvie Riou-Milliot ont donc cherché à savoir comment bien poursuivre ce « *dialogue* » entre nous et nos micro-organismes, comme le dit la Pr Nadine Cerf-Bensussan, responsable du laboratoire Immunité intestinale à l'Institut des maladies génétiques Imagine à Paris. Ils ont exploré les pistes proposées pour entretenir ce capital santé et renforcer ainsi nos défenses immunitaires dès la naissance : probiotiques, prébiotiques et autres transplantations fécales offrent en effet des perspectives réelles pour faire face à certains déséquilibres délétères. Sans oublier que nous pouvons aussi agir de façon simple en diversifiant notre alimentation et en prenant soin de notre corps pour qu'il demeure ce havre de paix propice aux bactéries commensales. Autre piste sur laquelle nous vous invitons à nous suivre ce mois-ci : celle qui conduit à la cathédrale Notre-Dame de Paris, dont — on s'en souvient bien sûr ! — la charpente et la flèche ont été détruites par un incendie voici deux ans. Notre journaliste Arnaud Devillard y a eu un accès privilégié accompagné des scientifiques qui sondent pierre et bois pour tenter d'en sauver les vestiges. Voyage au cœur d'un chantier hors normes. ■ @carolechatelain

> « Ce petit monde bactérien est aussi nécessaire au maintien de notre santé que l'oxygène l'est à notre respiration »

L'UN DES PLUS GRANDS MYSTÈRES DE L'HISTOIRE DE L'HUMANITÉ ENFIN RÉVÉLÉ.

ICEMAN

«Le digne successeur de THE REVENANT»
CINEUROPA

«Une chasse à l'homme haletante»
HOLLYWOOD REPORTER

UN FILM INSPIRÉ DE LA DÉCOUVERTE D'ÖTZI,
TUÉ IL Y A 5 300 ANS ET RETROUVÉ MOMIFIÉ PAR LA GLACE

MAINTENANT EN BLU-RAY, DVD ET VOD

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

RMC DÉCOUVERTE

© 2017 Port au Prince Film & KulturProduktion, Echo Film, Lucky Bird Pictures, AMOUR FOU Vienna, ZDF. © 2021 Condor Entertainment SAS. Tous droits réservés.
BLACK CHERRY

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 890 / Avril 2021

DOSSIER P. 22

Microbiotes

Comment renforcer notre immunité

Certaines des milliards de bactéries qui peuplent notre organisme jouent un rôle fondamental pour nous protéger de maladies. Les chercheurs les ont identifiées et peuvent ainsi donner des pistes pour fortifier nos défenses.

3 **Éditorial** par Dominique Leglu

4 **Courrier**

5 **Édito** par Carole Chatelain

SCIENCES FONDAMENTALES

8 **ACTUALITÉS** / La première carte des plus gros trous noirs / La 9e planète toujours introuvable / Une carte du monde sans déformations

34 **Des autoroutes invisibles pour visiter l'espace**

38 **La Chine à la conquête de Mars**

42 **5G : l'Internet sur mesure séduit les professionnels**

46 **Un algorithme aide à dénouer les nœuds**

47 **L'einsteinium livre ses premiers secrets**

NATURE

12 **ACTUALITÉS** / La barrière à dingos bouleverse le sud-est de l'Australie / Les stocks de poissons vont mieux / L'aviation ne pourra pas redécoller comme avant

48 **Les baleines, un précieux capital pour le climat**

52 **Des truffes blanches dans son jardin**

54 **Nature et technique en miroir**

56 **Les sables du Sahara font voyager le césium**

SANTÉ

16 **ACTUALITÉS** / Le syndrome de la guerre du Golfe n'est pas dû à l'uranium des munitions / Les circuits de l'humeur varient avec les saisons / Tous les bisphénols sont inquiétants

58 **Un nouvel espoir contre l'allergie à la cacahuète**

62 **Une intelligence artificielle prédit la forme des protéines**

65 **Des chercheurs ont communiqué avec des rêveurs**

Les courants de gravité pourraient accélérer les voyages spatiaux. **p. 34**

Les baleines, de grands pièges à carbone qu'il faut protéger **p. 48**

Deux ans après l'incendie de Notre-Dame de Paris, le temps de la reconstruction **p. 76**

66 **Covid-19, vers la fin de la phase pandémique**

69 **L'effet placebo joue sur tout le cerveau**

70 **Dossier spécial : les troubles digestifs**

74 **Nutrition : la beauté vient-elle en mangeant ?**

HISTOIRE

18 **ACTUALITÉS** / Un exceptionnel char d'apparat découvert à Pompéi / Une mélodie vieille de 18 000 ans a été restituée / La plus ancienne brasserie du monde se trouve en Égypte

76 **Au cœur du chantier de Notre-Dame**

81 **Le plus vieil ADN fossile dévoile l'histoire des mammouths**

82 **Une réplique pour admirer les joyaux de la grotte Cosquer**

85 **La chute d'un astéroïde a bien provoqué la fin des dinosaures**

RENDEZ-VOUS

86 **La Recherche** Autour d'un livre

88 **Sélection livres**

90 **Expositions**

91 **Le ciel d'avril**

92 **Questions de lecteurs**

93 **La Recherche** Solution des jeux

94 **La Recherche** Dialogue sur l'initiative One Health

98 **La Recherche** Jeux

La Recherche RETROUVEZ NOS CHRONIQUES

47 Maths : Aurélien Alvarez

56 Climat : Céline Guivarch

97 Éthique : Jean-Gabriel Ganascia

NADIA RABHI POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE - GETTY IMAGES - DAVID FLEETHAM/NATUREPL/EBPHOTO - REMY GRANDROQUES/SIPA

La première carte des plus gros trous noirs

25 000 trous noirs supermassifs ont été recensés grâce au réseau de radiotélescopes LOFAR.

Cette carte, qui a nécessité 256 heures d'observation, couvre 2 % du ciel.

LOFAR LBA SKY SURVEY / ASTRON)

ASTROPHYSIQUE C'est une carte inédite que vient de publier une équipe internationale d'astrophysiciens dans la revue *Astronomy & Astrophysics*. Elle recense plus de 25 000 trous noirs supermassifs (au moins un million de masses solaires), tapis au cœur de galaxies plus ou moins lointaines. Cette recension a été réalisée grâce au réseau de radiotélescopes LOFAR (Low Frequency Array), constitué de 52 stations réparties dans neuf pays européens. Le principe a consisté à observer ces trous noirs dans le domaine des ondes radio à basses fréquences (50 MHz), où les étoiles sont presque invisibles, tandis que les trous noirs brillent. En effet, la matière (étoiles ou nuages de gaz) attirée et accélérée par ces astres très denses émet de grande quantité d'énergie dans les ondes radio, révélant indirectement la présence des trous noirs. Ces émissions étant en grande partie captées par notre atmosphère, il a fallu près de 256 heures d'observations pour pouvoir établir cette carte qui ne couvre que 2 % du ciel ! **F. N.**

EN DEUX MOTS

ESPACE. La Russie et la Chine ont annoncé vouloir construire une station scientifique commune sur la Lune **GASTRONOMIE.** Le Français Thomas Pesquet, qui rejoindra l'ISS le 22 avril, embarquera avec lui quelques menus d'exception, lyophilisés, confectionnés par le chef étoilé Thierry Marx. **EXPLORATION.** Une nouvelle exoplanète située à « seulement » 26,4 années-lumière de la Terre serait une candidate idéale pour des investigations sur son atmosphère et son éventuelle habitabilité.

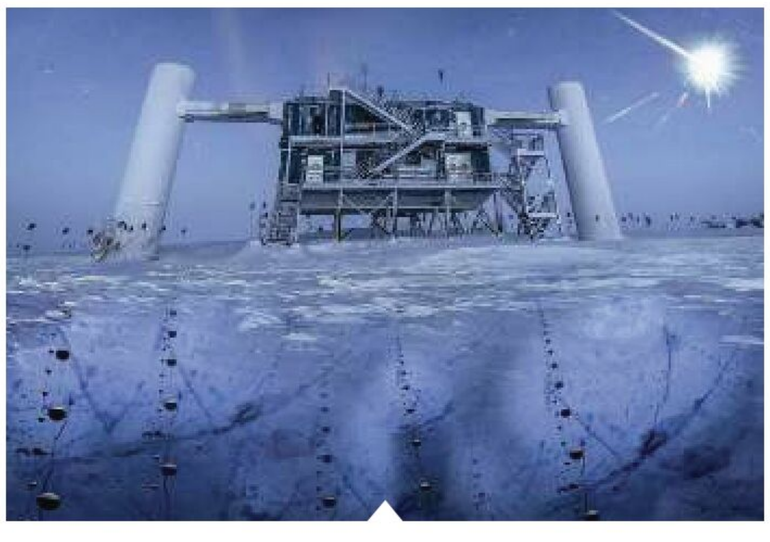
La 9e planète toujours introuvable

ASTRONOMIE L'existence d'une neuvième planète évoluant à une distance dix fois plus importante que Pluton et jusqu'à dix fois plus grosse que la Terre est de plus en plus improbable. Une vaste étude s'appuyant sur la modélisation de dix milliards d'objets transneptuniens conclut qu'aucune planète cachée ne perturbe l'orbite des corps lointains. **F. D.**

SOURCE : K. NAPIER, UNIVERSITÉ DU MICHIGAN, ÉTATS-UNIS.

Un neutrino dévoile son lieu de naissance

PHYSIQUE Des astrophysiciens sont parvenus à découvrir l'origine précise d'un neutrino, une particule de très faible masse mais de grande énergie, capté par l'observatoire IceCube en Antarctique, en octobre 2019. En reconstituant sa trajectoire, ils montrent qu'elle mène droit vers un trou noir sans doute en train de dévorer une étoile, niché dans une galaxie lointaine. L'activité du trou noir avait été repérée par le télescope spatial Swift quelques mois plus tôt. C'est ainsi que les deux événements ont pu être reliés. **F. N.**



ICE CUBE/NSF

L'observatoire IceCube, en Antarctique, a capté le neutrino dont les chercheurs ont pu trouver l'origine.

SOURCE : ROBERT STEIN, UNIVERSITÉ HUMBOLDT, BERLIN, ALLEMAGNE.

1000 ans

Une année sur Farfarout

ASTRONOMIE **L'astre le plus lointain du Système solaire a été formellement identifié à une distance de 132 fois celle qui sépare la Terre du Soleil. Baptisé Farfarout (« loin lointain » en anglais), l'objet met environ 1000 années terrestres pour faire le tour du Soleil.** **H. J.**

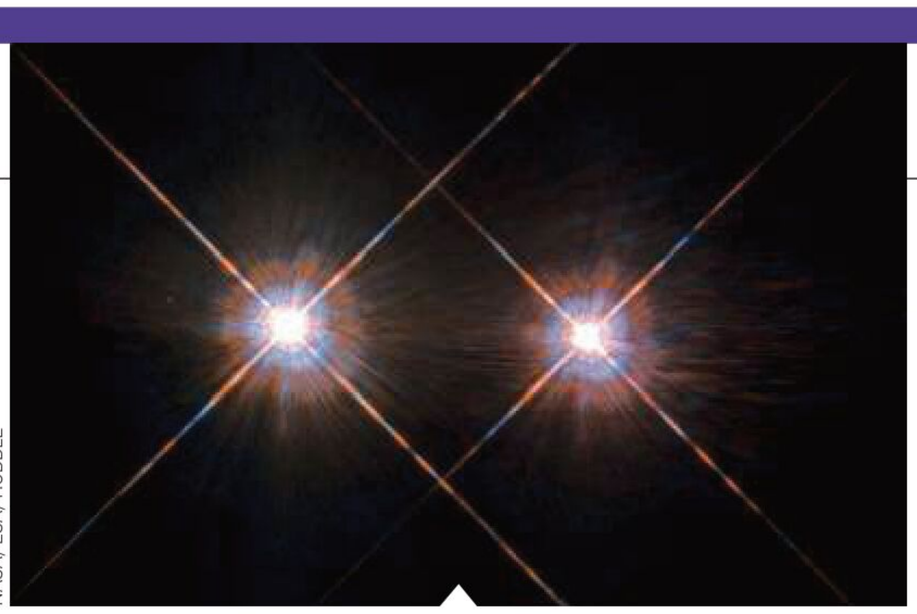
SOURCE : SCOTT SHEPPARD, INSTITUT CARNEGIE POUR LES SCIENCES, ÉTATS-UNIS.

Des satellites en bois

ASTRONAUTIQUE Pour résoudre les problèmes de pollution à l'aluminium ou d'autres alliages métalliques lors de la rentrée dans l'atmosphère des satellites, des chercheurs japonais de l'université de Kyoto ont lancé la fabrication d'un minisatellite en bois baptisé Lignosat. Sa coque se consume entièrement en rentrant dans l'atmosphère. Elle est aussi perméable aux ondes électro-magnétiques, ce qui permet de loger les antennes à l'intérieur de l'engin. **S. R.**

SUMITOMO FORESTRY

La coque de Lignosat doit se consumer en rentrant dans l'atmosphère.



NASA/ESA/HUBBLE

L'étoile Alpha Centaury A (à gauche) abriterait une planète de taille moyenne dans sa zone habitable.

L'IMAGE

Une exoplanète a été observée directement

ASTROPHYSIQUE

« C1 » serait la première exoplanète de taille moyenne (entre celle de Neptune et de Saturne) « photographiée » dans la zone d'habitabilité de son étoile, Alpha Centauri A, à 4,4 années-lumière de nous. Cette image a été prise dans l'infrarouge grâce au Very Large Telescope au Chili, en cumulant près de 100 heures d'observations. F. N.

SOURCE : KEVIN WAGNER, UNIVERSITÉ D'ARIZONA, ÉTATS-UNIS.

Un milliard d'années de tectonique des plaques

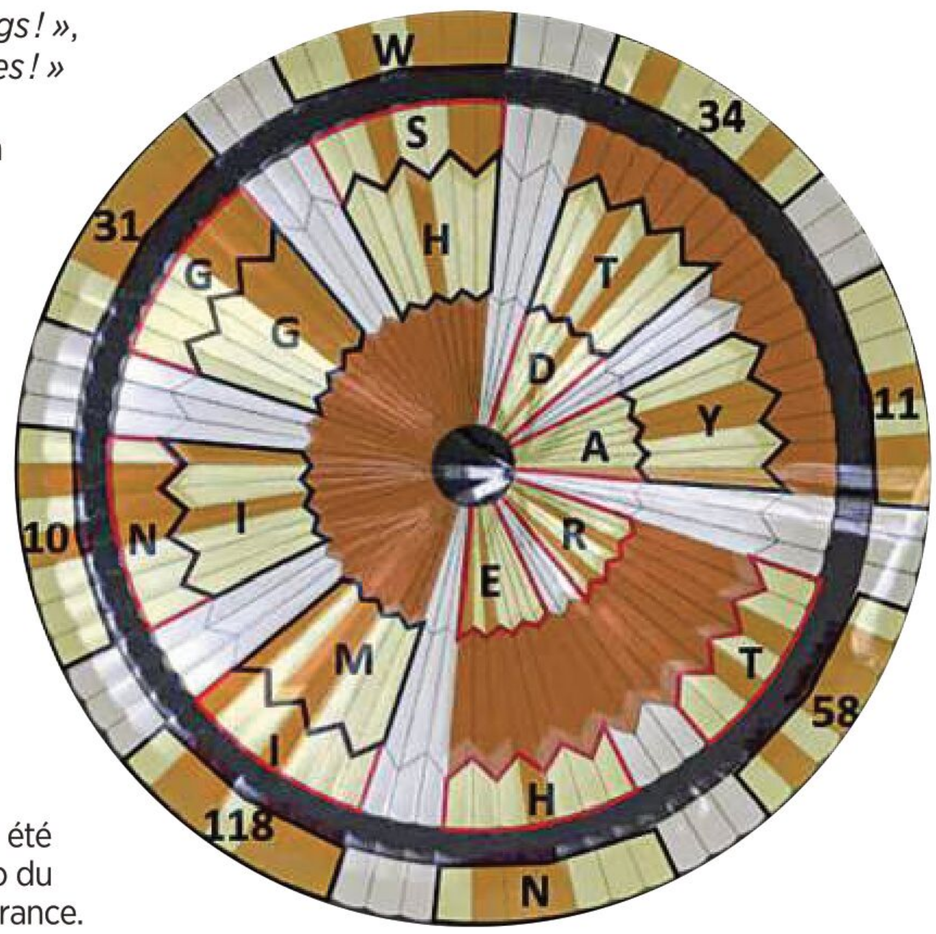
GÉOSCIENCES

En compilant un grand nombre de données, des chercheurs ont reconstitué un milliard d'années de mouvements de tectonique des plaques dans une vidéo de 40 secondes durant lesquelles les océans s'ouvrent et se ferment, les continents se dispersent et se recombinent pour former des supercontinents (à voir sur sciav.fr/890Tectonique). **A.-S. T.**

SOURCE : ANDREW MERDITH, UNIVERSITÉ DE LYON, FRANCE.

Un message codé est arrivé sur Mars

ESPACE *« Dare Mighty Things ! », « Osez des choses grandioses ! »* La devise du Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la Nasa était encodée dans le parachute qui a permis de déposer le rover Perseverance sur Mars le 18 février. Le code binaire reposait sur les rainures rouges et blanches du parachute ainsi que sur leurs positionnements à l'intérieur de trois cercles, permettant d'inscrire aussi les coordonnées GPS du laboratoire : 34° 11' 58" N, 118° 10' 31" W. **F. D.**



SIPA

►

La solution au message a été superposée sur une photo du parachute du rover Perseverance.

MARCO BUTTU

QUESTIONS À

Cyprien Verseux

Candidat au recrutement d'astronautes de l'ESA

« Je veux vivre une aventure extraordinaire »

Le 31 mars s'ouvre l'appel à candidatures de l'Agence spatiale européenne (ESA) pour recruter les astronautes qui travailleront dans la future station en orbite autour de la Lune. Le Français Cyprien Verseux sera candidat.

Quels sont vos atouts ?
À la fin de mes études de biologie spatiale, j'ai effectué un stage à la Nasa sur un projet de recherche d'organisme super-résistant pour une future base spatiale. En parallèle, j'ai participé en 2015 à une simulation d'exploration spatiale à Hawaii. Durant un an, nous avons vécu à six, isolés sous un dôme. Il s'agissait d'évaluer l'impact du confinement sur les performances des équipages en vue d'une mission martienne.

Puis il y a eu l'Antarctique...
Autre environnement extrême ! En 2018, j'ai endossé le rôle de chef de mission à Concordia, une base franco-italienne au cœur du continent. À l'issue de cette seconde année d'isolement, ma thèse en poche, j'ai été chargé de monter de toutes pièces un laboratoire de biologie spatiale à l'institut Zarm, à Brême. Avec pour objectif de développer un système de production de ressources vitales pour les futurs explorateurs martiens.

Quel est l'intérêt de devenir astronaute pour vos recherches ?
Ce même système pourrait être adapté à l'environnement lunaire... Mais j'ai surtout envie de vivre une aventure extraordinaire, de voir la Terre de loin, de retrouver les relations fortes que l'on forge avec ses coéquipiers.

Propos recueillis par S. R.

NASA

À VOIR SUR LE NET

Starship atterrit, puis explose

ESPACE Le 10e prototype du vaisseau Starship de l'entreprise américaine SpaceX est, pour la première fois, parvenu à revenir sans encombre sur son pas de tir au Texas (États-Unis). Un exploit de courte durée, puisque l'engin a finalement explosé huit minutes après. En cause, la vitesse de 10 m/s trop élevée à l'atterrissage qui a écrasé les pieds de la fusée. **S. R.**

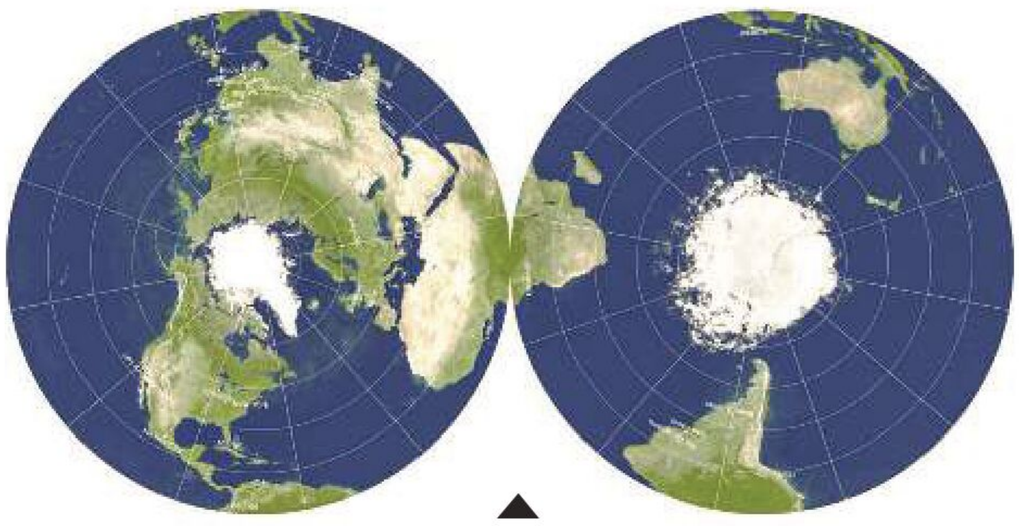
sciav.fr/890Starship

131 072 Le nombre d'antennes composant l'observatoire SKAO

ASTRONOMIE La France vient de se déclarer candidate à la construction du Square Kilometer Array (SKAO), destiné à être le plus grand radiotélescope au monde. Outre ses antennes de deux mètres de haut, la structure en réseau, dont la construction démarrera d'ici à quelques mois en Australie, sera associée à 193 paraboles de 15 mètres de diamètre en Afrique du Sud. **F. D.**

Une carte du monde sans déformations

Ce planisphère respecte les positions et les proportions des continents.



L'hémisphère Nord est représenté au recto, le Sud au verso.

R. GOTT, R. VANDERBEI, D. GOLDBERG

GÉOGRAPHIE C'est la carte de la Terre la plus fidèle jamais réalisée que vient de dévoiler une équipe de l'université de Princeton (États-Unis) sur la plateforme de prépublication ArXiv. Un planisphère recto verso qui s'assemble dos à dos avec l'hémisphère Nord d'un côté et l'hémisphère Sud de l'autre. L'équateur étant, lui, représenté par le bord du cercle. C'est la solution qu'ont trouvée les chercheurs à un défi bien connu des cartographes : comment passer d'une sphère 3D à un plan sans distordre des territoires ou des océans ? La projection Mercator, celle que nombre d'élèves ont connue dans leurs salles de classe, déforme les surfaces, avec un Canada trop grand et un Mexique trop petit par exemple. La projection Winkel Tripel, elle, déforme l'Antarctique et donne l'illusion que le Japon est très à l'est de la Californie. Cette fois, toutes les proportions et positions sont respectées, quitte à couper les continents en deux. S'il fallait auparavant faire pivoter un globe pour tout voir du monde, il suffira désormais de retourner une carte. **C. L.**

Un « écran textile » en coton lavable

HUISHENG PENG

Le tissu renferme 500 000 micro-unités électroluminescentes.

MATÉRIAUX Des scientifiques chinois sont parvenus à tisser un « textile intelligent » en coton souple pouvant afficher des cartes, écrire des messages ou communiquer avec des objets connectés. Ce tissu recèle des fibres conductrices déformables et un demi-million d'unités électroluminescentes espacées chacune de 800 micromètres. Elles sont les pixels de cet « écran textile » lavable, qui reste fonctionnel même après avoir été plié et étiré plus de 1000 fois. **F. D.**

SOURCE : X. SHI, UNIVERSITÉ DE FUDAN, CHINE.

Une météorite plus ancienne que la Terre

ASTRONOMIE C'est la plus ancienne météorite d'origine volcanique que vient d'identifier une équipe française. Découverte en 2020 dans le Sahara algérien, Erg chech 002 s'est formée à partir de la croûte d'une protoplanète aujourd'hui disparue, il y a 4,56 milliards d'années, soit 20 millions d'années avant la Terre. **H. J.**

SOURCE : JEAN-ALIX BARRAT, UNIVERSITÉ DE BREST, CNRS, FRANCE.

A. IRVING

Ce fragment de lave extraterrestre aurait 4,56 milliards d'années.

Une appli d'alerte au « big one »

SISMOGRAPHIE Après la Californie, c'est au tour de l'Oregon d'adopter le système ShakeAlert en prévision du « big one », ce méga-séisme attendu un jour ou l'autre sur la côte ouest des États-Unis. Le réseau de capteurs sismographiques exploités par l'Institut d'études géologiques des États-Unis doit permettre de détecter en amont les séismes importants et d'alerter les habitants par le biais d'une application smartphone. L'État de Washington l'adoptera en mai. **H. J.**

Quelques pièces pour des cambrioleurs.
Tout son trésor pour votre enfant.

orange™

Maison Protégée
Télésurveillance 24/7

19 €99 /mois*
pendant 6 mois puis 25,99 €/mois pour un appartement en étage

- **Installation par nos professionnels incluse**
- **Déplacement sans frais d'un agent de sécurité 24/7**
- **Tarif fixe, quel que soit le nombre de détecteurs installés****

boutique.orange.fr/telesurveillance

Offre soumise à conditions, réservée aux abonnés particuliers Orange mobile ou internet pour les logements en France métropolitaine d'une surface jusqu'à 200 m² et dont la valeur des biens mobiliers ne dépasse pas 100 000 €. Frais de résiliation de 49 €. Conditions sur boutique.orange.fr/telesurveillance

*Tarif pour un appartement en rez-de-chaussée ou une maison : 26,99 €/mois pendant 6 mois puis 32,99 €/mois. Promotion valable pour toute 1re souscription (même titulaire et même adresse) jusqu'au 18/08/2021. **Le technicien détermine le type, le nombre et l'emplacement des détecteurs suite au diagnostic personnalisé du logement, afin de sécuriser les axes stratégiques et les zones de valeur.
Maison Protégée est une offre de télésurveillance proposée par Orange Télésurveillance (SASU au capital de 33 610 000 € - Siège social : 1 avenue du Président Nelson Mandela 94110 Arcueil - RCS Créteil 824 353 973), titulaire de l'autorisation d'exercer AUT-094-2117-05-16-20180654177 délivrée par le CNAPS. L'autorisation d'exercice ne confère aucune prérogative de puissance publique à l'entreprise ou aux personnes qui en bénéficient. © Matthieu Joffres

La barrière à dingos bouleverse le sud-est de l'Australie

Cette immense clôture pour protéger les troupeaux contre les chiens sauvages a des conséquences néfastes sur l'environnement.

La clôture d'une partie du territoire pour éviter la présence des dingos a entraîné une surpopulation des herbivores et appauvri la végétation.

PHOTO12.COM - BIOSPHOTO

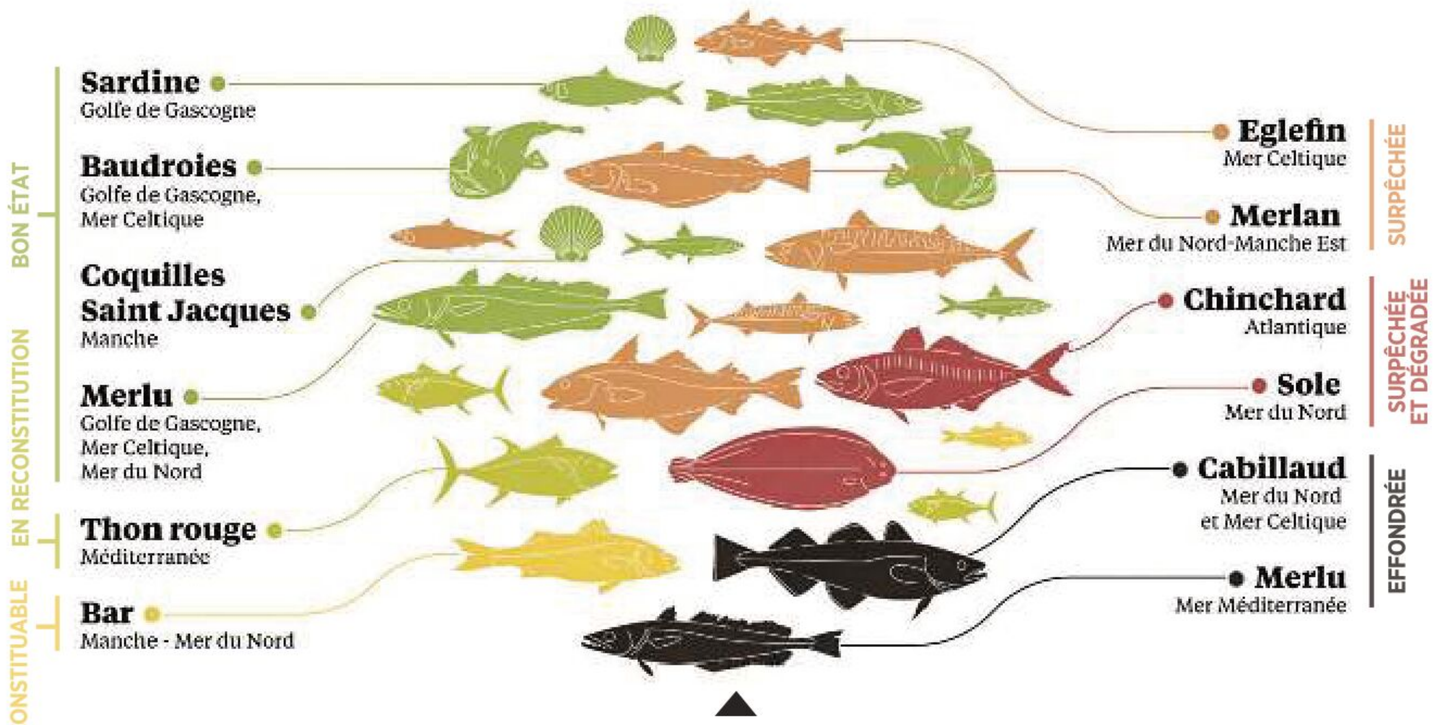
BIODIVERSITÉ Une seule clôture peut bouleverser tout un écosystème. C'est ce que démontre une étude publiée dans *Landscape Ecology* menée à partir des images satellitaires, enregistrées depuis 1988 par le programme américain Landsat. Elle a porté sur l'une des plus longues clôtures au monde, qui s'étend sur 5 600 km, coupant le sud-est de l'Australie du reste du pays. Déployée au XIXe siècle pour lutter contre les ravages des lapins sur les cultures, elle a été reconvertie, dans les années 1880, en barrière contre les dingos, ces chiens sauvages qui décimaient les troupeaux de moutons. Privé de son principal prédateur, le sud-est australien est depuis soumis au surpâturage par les kangourous et autres herbivores en surpopulation. L'appauvrissement de la végétation et des sols dans la zone clôturée est particulièrement visible depuis l'espace après les pluies, les terrains à l'extérieur reverdissant plus vite. Les chercheurs de l'université de Sydney veulent maintenant savoir si cette barrière influe aussi sur la fréquence des feux de brousse. **S. R.**

PHOTO12.COM

Pourquoi certains moutons ont 4 cornes

ANATOMIE Des chercheurs viennent d'identifier les origines génétiques de la paire de cornes surnuméraires de certaines espèces de bovidés. Si des centaines de gènes sont impliquées dans le développement de ces appendices très tôt lors de la formation de l'embryon, c'est une variation du « gène architecte » HOXD1, chargé de définir le plan du corps, qui conduit à la formation de bourgeons de cornes supplémentaires. Reste à découvrir s'il y a là un avantage évolutif. **H. J.**

SOURCE : AURÉLIE ALLAIS-BONNET, UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY, FRANCE.



Populations de poissons classées selon leur état en 2020 par l'Ifremer.

JÉRÉMY BARRAULT/IFREMER

Les stocks de poissons vont mieux

HALIEUTIQUE Les stocks de poissons des eaux territoriales françaises se reconstituent. 60 % des espèces consommées sont pêchées durablement contre à peine 15 % en 2000. La baisse du nombre de bateaux, la création d'aires marines protégées, l'interdiction de pêcher pendant la reproduction expliquent ce renouveau selon l'Ifremer. Celui-ci publie désormais chaque année les espèces à privilégier et à éviter. *(voir ci-dessus)* **L. C.**

SOURCE : ALAIN BISEAU, IFREMER, FRANCE.

17 m/s La vitesse de la pince d'un crustacé

BIOMÉCANIQUE *Dulichiella appendiculata*, long d'à peine quelques millimètres, réalise l'un des mouvements les plus rapides du monde animal. 10 000 fois plus rapide qu'un clignement d'œil, sa pince peut s'ouvrir et se fermer plusieurs centaines de fois par seconde. Une accélération d'autant plus impressionnante qu'elle se fait dans l'eau. **H. J.**

SOURCE : SARAH LONGO, TOWSON UNIVERSITY, ÉTATS-UNIS.

La seiche passe le « test de la guimauve »

TEUTHOLOGIE Les seiches sont capables de résister à une friandise dans le but d'obtenir, ultérieurement, une récompense meilleure. Des chercheurs ont reproduit chez ce céphalopode une expérience de psychologie qui consiste à donner le choix à un enfant : une guimauve tout de suite, ou deux plus tard. À ceci près que la guimauve était remplacée par des crevettes. **M. B.**

SOURCE : A. SCHNELL, UNIVERSITÉ DE CAMBRIDGE, ROYAUME-UNI.

Le soleil
UNE SOURCE INÉPUISABLE D'ÉNERGIE

Savez-vous que le soleil produit en une heure l'énergie que l'humanité consomme en un an ? Et si on équipait nos maisons de panneaux photovoltaïques ? Loin d'être inaccessible, cette solution contribue à déployer l'électricité solaire, une source propre et inépuisable, et permet de réaliser des économies.

AGENCE GOOD CAKE / ADOBE STOCK

Les Français prêts à passer au solaire

Deux Français sur trois se disent prêts à passer à l'électricité solaire [1]. Cette attente fortement partagée est motivée par le souhait de faire des économies (74 %), de respecter l'environnement (42 %) et être plus autonomes énergétiquement (41 %). Rien d'étonnant car l'autoconsommation a aujourd'hui le vent en poupe et répond à la volonté de plus en plus de foyers d'éviter le gaspillage et de consommer au plus juste.

Comment produire et consommer sa propre électricité ?

Les panneaux photovoltaïques sont installés sur le toit de la maison. Ils transforment directement l'énergie solaire en électricité qui sera utilisée pour les besoins en chauffage, éclairage, appareils électriques… Le surplus généré par l'installation solaire qui n'est pas autoconsommé est directement réinjecté sur le réseau et vendu à un prix fixé par l'État [2]. Rien ne se perd, tout se valorise !

ENGIE innove avec le projet Google Sunroof pour estimer le potentiel solaire de votre maison

Grâce au partenariat entre ENGIE et Google, vous pouvez connaître le potentiel de production annuelle d'électricité de votre toit en fonction de son orientation et de sa situation géographique. Estimez les économies réalisables avec l'utilisation de l'électricité solaire directement sur le site mypower.engie.fr !

J'agis avec ENGIE

PROFITEZ D'UNE REMISE EXCEPTIONNELLE DE 1000€ SUR VOTRE INSTALLATION SOLAIRE DU 01/04/2021 AU 30/04/2021 INCLUS ![3]

Les offres My Power d'ENGIE sont une gamme de solutions sur-mesure, qui vous permettent d'installer chez vous un système photovoltaïque de production d'électricité adapté à vos besoins. ENGIE vous accompagne du début à la fin de votre projet : conseil, devis, démarches administratives préalables auprès des mairies, demande de raccordement au gestionnaire de réseau et installation. Passez au solaire et du 01/04/2021 au 30/04/2021 inclus, profitez d'une remise exceptionnelle de 1000 euros sur votre installation solaire ![3]

Pour en savoir plus sur My Power, rendez-vous sur : mypower.engie.fr

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

ENGIE

[1] Sondage Engie My Power. Méthodologie : enquête réalisée par Toluna, sur un échantillon représentatif de 1014 répondants en France, propriétaires de maison - Avril 2018.

[2] Le revenu du surplus d'électricité n'est possible qu'avec un compteur Linky, des frais peuvent vous être facturés par l'opérateur du réseau Enedis.

[3] Offre valable du 01/04/2021 au 30/04/2021 inclus, donnant droit à une remise immédiate de 1000 € sur votre devis ENGIE My Power pour toute signature du bon de commande ou visite technique acceptée avant le 30/04/2021. Offre réservée pour toute souscription par une personne physique majeure. Offre non cumulable avec d'autres offres promotionnelles d'ENGIE My Power.

EN DEUX MOTS

MOUSTIQUES. La molécule euphorisante présente dans l'herbe-aux-chats (cataire) dont les félins raffolent pourrait servir à développer de nouveaux antimoustiques, selon des scientifiques japonais. **CLIMAT.** La circulation du courant océanique atlantique Gulf Stream a atteint son niveau le plus faible depuis un millénaire en raison du changement climatique. **POLLUTION.** Depuis février, les industries du tabac sont considérées comme responsables de la pollution engendrée par les 30 milliards de mégots jetés chaque année par terre en France.

Une limace se coupe la tête

MALACOLOGIE Certaines espèces de limaces de mer sacoglosses sont capables de séparer leur tête de leur corps, abandonnant cœur, système digestif et organes reproducteurs, pour régénérer un corps entier en moins d'un mois. Cette « autodécapitation » leur permettrait d'éliminer de façon radicale les parasites internes qui inhibent leur reproduction selon l'équipe japonaise à l'origine de cette découverte. **H. S.**

SOURCE : SAYAKA MITOH, UNIVERSITÉ FÉMININE DE NARA, JAPON.

SAYAKA MITOH

Une fois détachée de son corps, la tête de la limace reste vivante et peut faire repousser un nouveau corps.

PREMIÈRE

Une chaudière 100 % hydrogène en France

ÉNERGIE Une chaudière fonctionnant à l'hydrogène a été mise en route en janvier au parc du Mollard, à Châteauneuf (Loire), entre Saint-Étienne et Lyon. C'est la première de ce type en France. Le site comprend des panneaux photovoltaïques et deux éoliennes qui alimentent en électricité un électrolyseur pour produire l'hydrogène. Son constructeur, BDR Thermea, teste ainsi la faisabilité d'un chauffage n'émettant pas de CO_2. **L. C.**

LAURENT GRANDGUILLOT/REA

Alors que le trafic aérien connaissait une croissance annuelle de 4 %, avant la crise du Covid-19, il devra baisser de 0,8 % chaque année.

L'aviation ne pourra pas redécoller comme avant

L'activité du secteur devra se réduire pour tenir l'objectif de maintenir la hausse des températures en dessous de 2 °C d'ici à 2050.

DÉVELOPPEMENT DURABLE *« La crise du Covid passée, l'aérien ne pourra repartir comme avant avec une croissance annuelle de 4 % sans tenir compte du contexte climatique qui impose la neutralité carbone en 2050 »*, estiment dans un rapport des ingénieurs et techniciens principalement issus de l'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace (Isae-Supaero), la grande école toulousaine qui forme l'élite de l'ingénierie du secteur. Selon leurs calculs, pour éviter que les émissions du transport aérien ne mettent en péril l'objectif de maintenir la hausse des températures en dessous de 2 °C d'ici à 2050, il faudra réduire la voilure. *« Pour rester dans "l'enveloppe carbone" qui est allouée à l'avion, nous devons diminuer de 0,8 % par an l'activité, dans notre hypothèse la plus réaliste de développement de technologies propres comme l'hydrogène »*, ajoutent Olivier del Bucchia et Grégoire Carpentier. Airbus estimait avant la crise à 38 000 avions les besoins pour 2038. Ceux-ci devraient désormais être limités au renouvellement des flottes des compagnies, soit 13 000 appareils. **L. C.**

Un iceberg menace une station britannique en Antarctique

CLIMAT Un iceberg plus grand que la Martinique s'est détaché de la plate-forme de Brunt, en Antarctique, le 26 février. La rupture du bloc de près de 1270 km² s'est produite à moins de 20 km de la station scientifique britannique Halley VI. Ce vêlage imminent était surveillé grâce à un réseau d'instruments GPS qui a permis d'évacuer le personnel dès mi-février. Reste à savoir si l'iceberg va maintenant s'éloigner ou s'échouer près de la station. **S. R.**

BRITISH ANTARCTIC SURVEY/REUTERS

Le bloc de glace qui s'est détaché de la banquise est grand comme 12 fois Paris.

Rencontre avec un maître brasseur belge

© JitskeSchols-01.

Hans Van Remoortere, Maître brasseur de la brasserie Bosteels, Belgique.

Depuis 2016, la bière belge est inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO. Par cet acte, elle est passée du statut de boisson à celui d'institution culturelle.

Avec plus de 1 600 variétés reconnues au niveau mondial et pas moins de 300 brasseries, ce qui a été longtemps perçu comme une simple attraction touristique est désormais un véritable étendard du savoir-faire belge. À tel point que les Maîtres Brasseurs belges sont aujourd'hui des garants de leur culture à l'international et sillonnent le monde pour former, éduquer et partager leur expérience. Dans cette optique, nous avons rencontré Hans Van Remoortere, le maître brasseur de la bière belge Tripel Karmeliet, pour en savoir plus sur la bière et répondre aux questions que l'on se pose tous.

On va commencer par le plus pratique. Comment déguste-t-on une bière ?
On commence par regarder : sa mousse, sa couleur, sa pétillance. Ensuite, on la sent pour déterminer les premières notes – n'hésitez pas à la remuer pour l'aérer. Enfin, on goûte pour confirmer ce que l'on a perçu auparavant : la texture, les flaveurs (...).

Quelle est l'importance d'un verre lorsque l'on déguste une bière ?
On ne servirait pas de champagne dans un verre à eau. Pour la bière, c'est la même chose. Le choix du verre est primordial. La forme d'un verre Tulipe (comme celui de la Tripel Karmeliet) permet de retenir la mousse et ses arômes. Son pied, quant à lui, vous permet de tenir le verre en main sans réchauffer la bière.

Comment sait-on quand une bière est prête ?
Une bière passe par 4 à 5 stades. Je goûte le produit à chacune de ces étapes tous les jours à 11 h – les papilles sont plus alertes. Si à une phase on observe une déviance de qualité, nous pouvons encore ajuster le liquide afin de garantir un produit qualitatif à tous les consommateurs.

Pouvez-vous nous en dire plus sur l'histoire de votre bière, la Tripel Karmeliet ?
C'est une histoire de famille. La brasserie a été créée en 1791 par Jean-Baptiste Bosteels, avant même la création du royaume de Belgique (1830). Depuis, 7 générations de brasseurs se sont succédé jusqu'à ce qu'Antoine Bosteels, à la fin du 20e siècle, découvre une recette oubliée de 1679 qui deviendra l'inspiration de la Tripel Karmeliet actuelle.

C'est l'une des rares bières brassées à base de 3 grains. Vous nous en dites plus ?
Notre engagement est de créer une bière parfaitement équilibrée. On dit qu'une bière est équilibrée lorsque "l'onctuosité", "l'acidité" et "le caractère" sont parfaitement balancés. La Tripel Karmeliet trouve cet équilibre, notamment grâce à l'association de 3 grains :
L'Orge qui apporte le corps à la bière.
Le Froment pour l'onctuosité et la fraîcheur.
L'Avoine pour le caractère.
Sans ces 3 grains, la Tripel Karmeliet n'existerait pas.

Si vous deviez qualifier la Tripel Karmeliet ?
La Tripel Karmeliet n'est pas une bière brassée en 3 semaines, nous prenons le temps de faire les choses. Le brassin passe plusieurs semaines en cuve, laissant aux saveurs le temps de se développer naturellement et la production finit par une refermentation en bouteille. On a donc un cycle de brassage de 6 à 7 semaines, ce qui est nettement plus long que la majorité des bières présentes sur le marché, reflétant notre savoir-faire traditionnel et notre authenticité.

Nous remercions Hans d'avoir pris le temps de répondre à nos questions. Un échange chaleureux avec un passionné pour nous permettre d'en apprendre plus sur l'univers de la bière.

Hans goûte la production Tripel Karmeliet tous les jours à 11 h car *« c'est à ce moment-là que les papilles sont le plus alertes »*.

© Olivier Anbergen - septembre 2019.

Tripel Karmeliet

L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.

MICHEL GANGNE/AFP

L'analyse des urines d'anciens combattants de l'opération Tempête du désert n'a pas montré de traces d'uranium.

Le syndrome de la guerre du Golfe n'est pas dû à l'uranium des munitions

L'origine de cette maladie chronique, dont souffrent 200 000 soldats qui ont combattu en Irak en 1991, reste inconnue.

TOXICOLOGIE Longtemps suspecté d'être à l'origine du syndrome de la guerre du Golfe dont ont souffert 200 000 soldats américains déployés en Irak en 1991, l'uranium appauvri présent dans des munitions antichars est disculpé. C'est ce que montrent des chercheurs de l'université de Portsmouth (Royaume-Uni) dans *Scientific Reports*. Ils ont recherché des traces d'uranium dans 154 échantillons urinaires d'anciens militaires atteints de cette maladie chronique au moyen d'un spectromètre de masse multi-collecteur de haute précision, capable de donner des résultats dix fois plus sensibles que ceux utilisés précédemment. En vain. Rien chez les malades, pas plus que dans le groupe contrôle des soldats déployés dans le Golfe mais revenus sans syndrome. L'origine des quelque 50 symptômes décrits reste donc à découvrir. **H. R.**

Une mutation accroît la résistance au froid

PHYSIOLOGIE Bien plus répandue dans les populations hors d'Afrique, une mutation dans une protéine musculaire, l'alpha-actinine 3, permet de mieux supporter le froid et de dépenser moins d'énergie en grelottant moins pour se réchauffer. En revanche, elle rend les muscles moins efficaces lors des efforts intenses. **P. K.**

SOURCE : VICTORIA WYCKELSMA, INSTITUT KAROLINSKA, SUÈDE.

PLAINPICTURE

Grelotter moins permet de dépenser moins d'énergie.

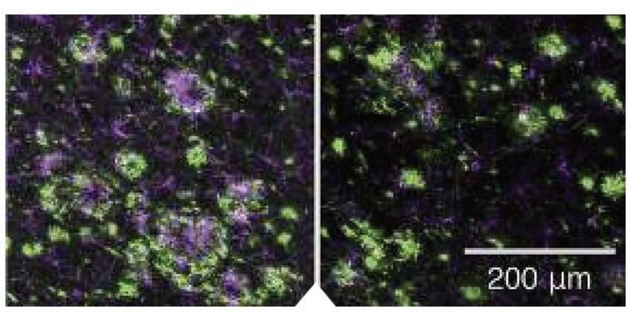
IL A DIT

« La première injection chez l'humain d'un nouveau candidat vaccin contre le VIH se fera la deuxième ou troisième semaine d'avril dans le cadre d'un essai sur 72 personnes »

Yves Lévy, directeur du Vaccine Research Institute (ANRS/Inserm)

Une nouvelle voie contre la maladie d'Alzheimer

NEUROLOGIE L'accumulation dans le cerveau d'un petit peptide (l'amyloïde bêta 42) contribuant à la maladie d'Alzheimer a pu être bloquée chez la souris et le singe par un puissant inhibiteur oral, annoncent des chercheurs américains. Cette molécule, qui réduit spécifiquement la production du peptide par une enzyme à la surface des neurones, sera bientôt testée chez l'humain. **P. K.**

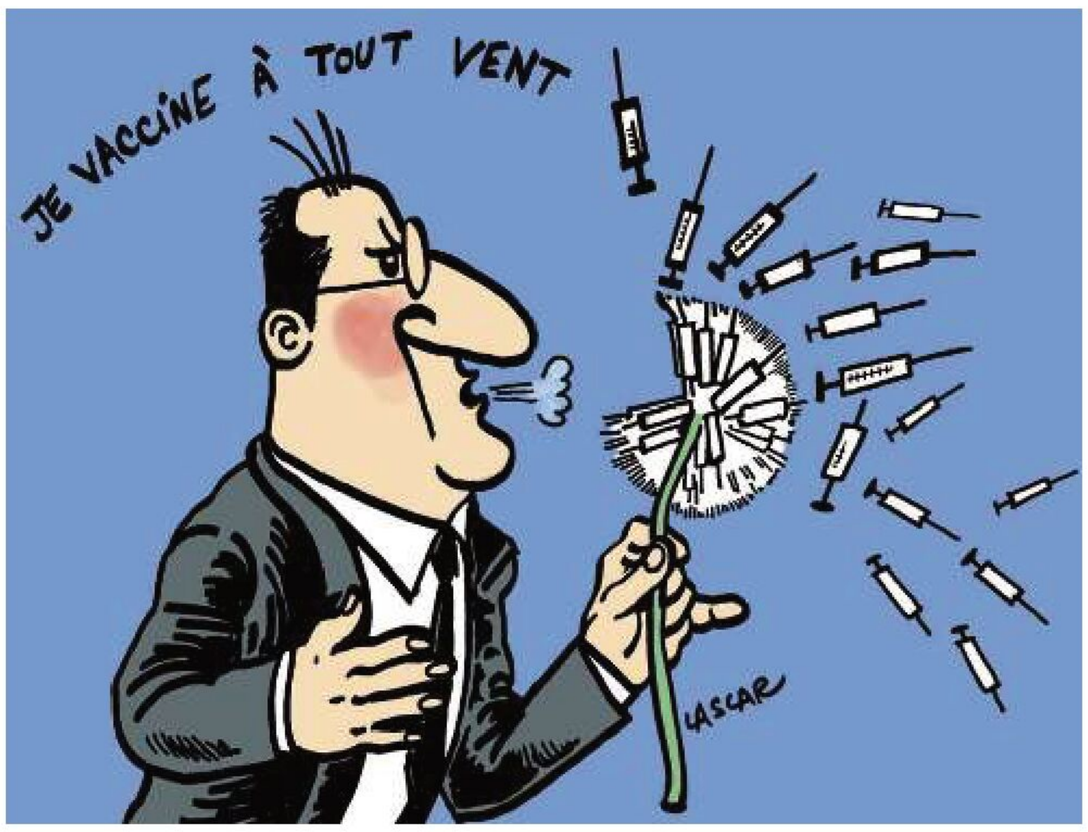


RYNEARSON ET AL

Plaques amyloïdes (vert) et inflammation (violet) sont réduites (image de droite).

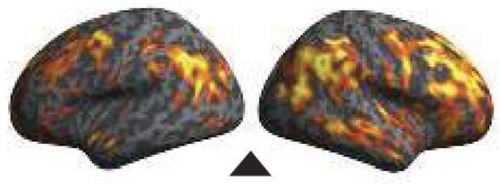
SOURCE : KEVIN RYNEARSON, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE À SAN DIEGO, ÉTATS-UNIS.

L'œil de Lascar



30 MILLIONS DE PERSONNES VACCINÉES à l'été ! Le gouvernement français affiche cet objectif *(lire p. 66)*, alors qu'à la mi-mars 5 millions de nos compatriotes ont reçu une première dose de vaccin contre le Covid-19. Selon l'Institut Pasteur, au 16 février, 17 % des adultes ont été infectés par le coronavirus depuis le début de l'épidémie. **O. L.**

Les circuits de l'humeur varient avec les saisons

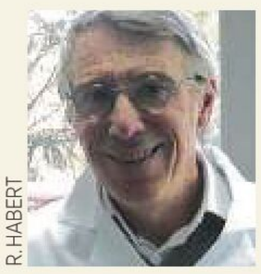


Visualisation des récepteurs aux opioïdes sur les 2 hémisphères du cerveau humain.

NEUROSCIENCES La durée du jour influe sur les quantités de récepteurs régulant notre humeur, sensibles aux opioïdes fabriqués par l'organisme. L'analyse d'images de cerveaux humains et de rats visualisant ces récepteurs en fonction des saisons montre qu'ils sont les plus nombreux au printemps. Ce phénomène pourrait aider à expliquer les troubles de l'humeur liés aux saisons. **P. K.**

SOURCE : LIHUA SUN, UNIV. DE TURKU, FINLANDE.

LIHUA SUN ET AL



R. HABERT

QUESTIONS À

René Habert

Professeur émérite de l'université de Paris, toxicologue de la reproduction

« Tous les bisphénols sont inquiétants »

Après l'interdiction du bisphénol A (BPA) en France, ce sont ses substituts qui suscitent des inquiétudes. C'est le cas notamment du bisphénol B — interdit en Europe — que l'Agence nationale de sécurité sanitaire et de l'environnement (Anses) veut classer « *substance extrêmement préoccupante* ».

Quel est le problème avec le bisphénol B ?

La famille des bisphénols comprend une vingtaine de produits très appréciés des industriels : tickets de caisse, canettes, boîtes de conserve, etc. Il s'agit de molécules très similaires et aux effets souvent proches. Or une fois le BPA interdit en France en 2015, les industriels ont eu recours à d'autres bisphénols (B, F, S) tout aussi inquiétants.

Quels sont ses effets connus ?

Cette substance chimique perturbe le système endocrinien, avec des effets surle neuro-développement, la reproduction masculine, les cancers du sein. Il y a peu d'études, mais elles montrent par exemple que la qualité et la quantité de sperme des rats mâles exposés baisse de 30 %. Au regard des connaissances acquises, ces quelques expériences sont déjà significatives.

Pourquoi proposez-vous d'étendre l'interdiction à tous les bisphénols ?

Il a fallu quinze ans et des milliers d'études pour faire réglementer le BPA. Au lieu de travailler substance par substance, il faut s'intéresser à cette classe de produits, qui sont très semblables.

Propos recueillis par R. M.

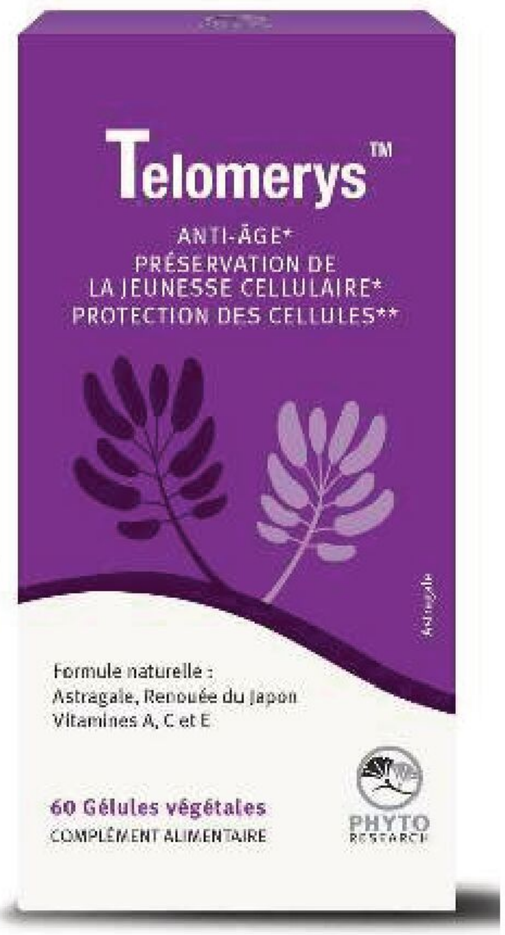
www.lesproduitsdumois.com

Scan me

Vertiges, pertes d'équilibre, instabilité ?

Vos troubles de l'équilibre impactent votre qualité de vie ? Vos troubles de l'équilibre sont dus à des altérations de la micro-circulation et au stress. Grâce à sa composition Unique et Naturelle, **AUDISTIM® ÉQUILIBRE VA VOUS SOULAGER !** L'écorce de pin maritime (EPM 150®) et le Gingembre améliorent la microcirculation, favorisent l'oxygénation cérébrale et contribuent à une bonne santé vasculaire. La Passiflore, l'Aubépine, le magnésium et le zinc diminuent le stress. Cure de 3 mois minimum. ■ En pharmacie www.audistimpharma.com /// AUDISTIMPHARMA à votre écoute : 05 56 69 13 84

INNOVATION ANTI-ÂGE



Le laboratoire français **PhytoResearch** a mis au point une **formule naturelle** basée sur les résultats des dernières avancées scientifiques sur l'astragaloside IV, une substance issue de l'Astragale capable de **ralentir le vieillissement cellulaire**.

Telomerys associe un extrait concentré de racine d'Astragale à du resvératrol, un **puissant antioxydant**, ainsi que des **vitamines A, C et E**.

Formule anti-âge inédite, deux gélules végétales par jour suffisent pour constater une **diminution significative des rides**, une **amélioration des fonctions cognitives** (mémoire, concentration) et un **regain d'énergie**.

■ En pharmacie boîte 60 gél vég - ACL 6024256
Convient aux végétaliens.
Plus d'infos au 01 83 96 83 01 (tarif local) - telomerys.com

Reflux, sécrétions, irritations altèrent votre qualité de vie,
MUCODISTIM HEMMAGE VOUS SOULAGE !

Raclements persistants dans la gorge, la Lithocétine® et le GABA agissent sur le pH de **l'acidité gastrique** et sur la **réduction du relâchement du sphincter**, permettant ainsi de contribuer à l'élimination des mucosités tout en luttant contre le reflux, l'Inflammation et l'irritation, la quercétine aide à combattre le phénomène allergique. En complément, la Valériane, l'éleuthérocoque, et le magnésium agissent sur le stress et la tension musculaire. Cure de 3 mois minimum. ■ En pharmacie www.audistimpharma.com /// AUDISTIMPHARMA à votre écoute : 05 56 69 13 84

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE
Pour paraître dans cette rubrique, R'Médias 01 46 48 85 41 - photos D.R.

Un exceptionnel char d'apparat découvert à Pompéi

Le véhicule de cérémonie été mis au jour dans un quartier situé dans la partie nord du parc archéologique.

ANTIQUITÉ « *C'est une trouvaille sans précédent* », n'a pas hésité à déclarer le ministère de la Culture italien. Un char cérémoniel dans un excellent état de conservation a été découvert à Civita Giuliana, un quartier situé au nord du parc archéologique de Pompéi (Italie), l'antique cité détruite par l'éruption du Vésuve en 79 après J.-C. Le véhicule à quatre roues, avec ses éléments de fer et décors de bronze et d'étain, se trouvait sous un porche à proximité d'une écurie où déjà, en 2018, les restes de trois équidés, dont un cheval attelé avait été mis au jour. Si des chars de transport, tels que ceux de la maison du Ménandre ou de la villa Arianna, ont été dégagés par le passé, rien de semblable au char de Civita Giuliana n'avait jamais été découvert en Italie. De ce véhicule destiné aux processions et parades ont été préservés des médaillons aux délicats ornements à thèmes érotiques en lien avec les cultes de Cérès et de Vénus. Cette pièce spectaculaire a surtout échappé aux pilleurs d'antiquités très actifs dans la région. **B. A.**

SIPA

Les médaillons à motifs érotiques ornant le char ont été préservés.

L'examen de la momie a montré de multiples perforations du crâne et traces de tortures.

AFP

L'imagerie médicale confirme l'exécution d'un pharaon

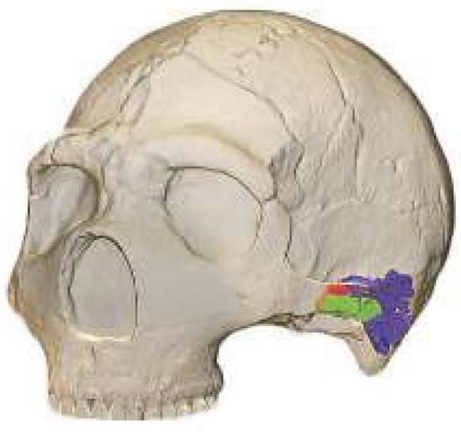
ÉGYPTOLOGIE Les derniers instants du pharaon Sêqénenrê Taâ II (« Celui que Râ a rendu brave ») ont été violents. Des analyses par scanner de sa momie découverte en 1881 montrent que son crâne a été perforé à de multiples reprises et son corps soumis à des tortures. Des blessures qu'ont tenté de dissimuler les embaumeurs du souverain qui aurait été capturé alors qu'il affrontait les Hyksos, une dynastie rivale d'origine étrangère. **B. A.**

SOURCE : SAHAR N. SALEEM, UNIVERSITÉ DU CAIRE, ÉGYPTE.

Neandertal avait l'ouïe fine

PALÉOANTHROPOLOGIE Une modélisation de l'oreille externe et moyenne de Neandertal par des chercheurs espagnols démontre que ce dernier entendait les sons de la même manière qu'*Homo sapiens*, y compris les consonnes. Le système de communication orale des néandertaliens était ainsi probablement aussi complexe et efficace que le nôtre. **C. G.**

SOURCE : MERCEDES CONDE-VALVERDE, UNIVERSITÉ D'ALCALÀ DE HENARES, MADRID, ESPAGNE.



MERCEDES CONDE-VALVERDE

Modélisation de l'oreille interne d'un Neandertal vieux de 55 000 ans.

Avec la disparition du gros gibier, le cerveau des chasseurs a grossi

PALÉOANTHROPOLOGIE Selon une nouvelle étude, à la suite de l'extinction massive des grands animaux et la diminution du gros gibier, les chasseurs de la préhistoire ont dû faire preuve de plus de ruse et d'audace en s'adaptant à la traque de proies plus petites et rapides. Ce faisant, ils auraient développé des capacités cognitives plus élevées. L'augmentation du volume du cerveau humain serait corrélée à cette nécessité. **B. A.**

SOURCE : MIKI BEN-DOR, UNIVERSITÉ DE TEL-AVIV, ISRAËL.

JOHANN BRANDSTETTER/AKG IMAGES

La chasse au mammouth était pratiquée au paléolithique.

6 Le nombre de squelettes retrouvés dans l'épave d'un bateau pirate

ARCHÉOLOGIE
Des explorateurs sous-marins ont découvert des restes humains conservés dans des concrétions sur l'épave du *Whydah Gally*, bateau pirate coulé en 1717 lors d'une tempête. Parmi ces squelettes, pourraient se trouver les restes du célèbre capitaine pirate anglais Black Sam. M. B.

BETC Bouygues Telecom – Société anonyme au capital de 819 698 624,76 € – Siège social : 37-39, rue Boissière – 75116 PARIS – 397 480 930 RCS PARIS.

Giga merci.

Chers clients Bouygues Telecom, si l'opération **Le don de giga** est une telle réussite, c'est grâce à votre générosité.

Votre mobilisation nous a permis de collecter 242 299 gigas symboliques qui ont contribué au don de 20 000 forfaits et 10 000 smartphones, et qui seront distribués à des personnes en situation d'exclusion numérique.

Alors, nous tenions à vous adresser un giga merci.

La lutte contre l'exclusion numérique est une de nos priorités.
Pour plus d'informations, rendez-vous sur bouyguestelecom.fr/gigamerci

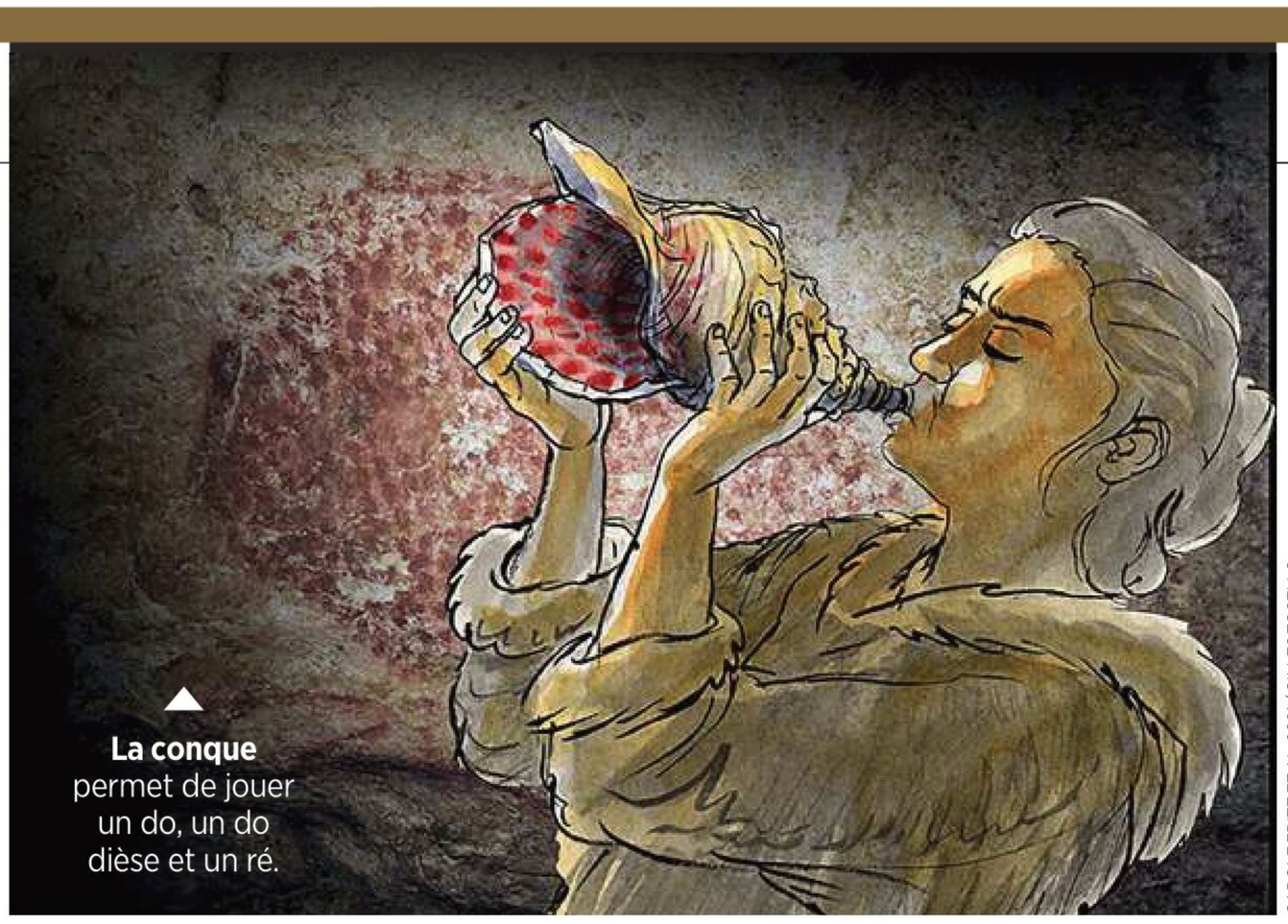
on est fait pour être ensemble

bouygues TELECOM

Durée de la collecte : du 1er décembre 2020 au 4 janvier 2021.

Une mélodie vieille de 18 000 ans a été restituée

Des chercheurs ont apporté la preuve de l'utilisation d'une conque comme instrument de musique au paléolithique.



La conque permet de jouer un do, un do dièse et un ré.

CAROLE FRITZ ET AL. 2021 / GILLES TOSELLO

PRÉHISTOIRE Trois notes venues de la nuit des temps ont été entendues pour la première fois par des scientifiques français. La plus basse serait proche du do et les deux autres, d'un do dièse et d'un ré. C'est en faisant sonner une conque (*Charonia lampas*) vieille de 18 000 ans que des chercheurs du laboratoire Traces (UMR 5608/université Toulouse-Le Mirail), sont parvenus à ces résultats. Découvert en 1931 à l'entrée de la grotte de Marsoulas (Haute-Garonne), le coquillage avait été oublié pendant 80 ans dans les collections du muséum de Toulouse. Si on connaît des flûtes en os de l'aurignacien (-30 000 ans), jamais n'avait été apportée la preuve de l'utilisation d'une conque comme instrument de musique au paléolithique. Plus encore, c'est le lien symbolique attesté entre ce coquillage et les peintures pariétales du site de Marsoulas qui a surpris les scientifiques. Des analyses par tomographie et spectrométrie de fluorescence X ont révélé que la partie interne de la conque cachait des tracés similaires à ceux des bisons de la cavité ornée. **B. A.**

EN DEUX MOTS

GUERRE 81 soldats britanniques ont été exhumés d'une fosse commune aux Pays-Bas, probablement tués par des révolutionnaires en 1792. **NEANDERTAL** À l'aide d'un gène néandertalien, des chercheurs ont cultivé des organoïdes cérébraux imitant en partie l'organisation du cerveau de nos cousins disparus. **MALADIE** Le paludisme affecterait l'humanité depuis plus de 7000 ans selon une nouvelle étude de bioarchéologie.

La plus ancienne brasserie du monde se trouve en Égypte

ÉGYPTOLOGIE De la bière, boisson favorite des anciens Égyptiens, aurait été brassée sur le site funéraire d'Abydos, dans le sud de l'Égypte. Les vestiges d'une brasserie y ont été datés du règne du souverain Narmer, il y a 5000 ans. Selon les chercheurs, 22 400 litres pouvaient être produits en même temps au sein des huit unités de production mises au jour au cœur de cette nécropole royale. **B. A.**

AFP

Huit unités de production permettaient de brasser 22 400 litres de boisson.

La missive a livré son contenu sans risquer d'être endommagée.

MIT

Une lettre du XVII^e siècle lue sans être dépliée

CRYPTOGRAPHIE Des chercheurs du MIT (États-Unis) ont mis au point une technique pour déplier virtuellement des lettres du XVII^e siècle et en percer ainsi les secrets sans les détériorer. Avant l'apparition des enveloppes, le pliage complexe des missives maintenu par un cachetage en cire offrait un gage de confidentialité. Mais impossible aujourd'hui de les ouvrir sans les endommager. **J. I.**

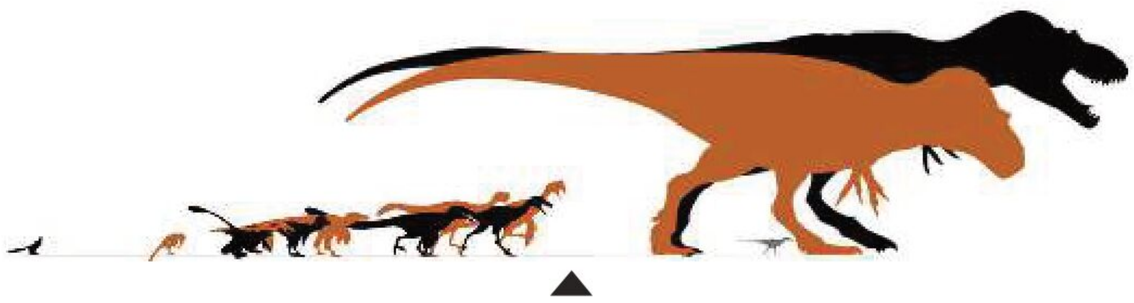
SOURCE : JANA DAMBROGIO, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ÉTATS-UNIS.

61 millions d'années

La nouvelle date de la collision Inde-Asie

GÉOLOGIE Les plaques continentales de l'Inde et de l'Asie sont entrées en collision, il y a 61 millions d'années, conduisant au soulèvement des montagnes himalayennes et du plateau tibétain. Une rencontre de 15 à 20 millions d'années plus ancienne que ce que l'on pensait jusqu'ici. **B. A.**

SOURCE : XIUMIAN HU, NANJING UNIVERSITY, CHINE.



La progéniture des dinosaures géants a capté les ressources alimentaires au détriment d'espèces de tailles intermédiaires.

SCHROEDER ET AL., SCIENCE

Les ravages des jeunes *T. rex*

PALÉONTOLOGIE Si les chercheurs ne trouvent pas de fossiles de dinosaures de taille moyenne — entre 100 kg et 1000 kg — c'est qu'ils ont subi une féroce concurrence notamment de la part des jeunes tyrannosaures rex. Des paléontologues ont en effet démontré que les progénitures d'immenses dinosaures carnivores, qui passaient de la taille d'un chat à celle d'une immense créature, ont agi sur leur écosystème en concurrençant les espèces de taille moyenne. Les jeunes méga-théropodes comblaient cet espace écologique et captaient les ressources disponibles pour d'autres espèces de taille équivalente. **J. I.**

SOURCE : KATLIN SCHROEDER, UNIVERSITY OF NEW MEXICO, ÉTATS-UNIS.

Les Scythes n'étaient pas que des guerriers nomades

ANTIQUITÉ De nouvelles preuves archéologiques indiquent que les Scythes, souvent considérés uniquement comme un peuple de guerriers nomades, auraient été sédentaires pour la plupart. Entre 700 et 200 avant J.-C., dans la steppe pontique (Ukraine et Russie méridionale), la majorité des Scythes restaient près de leur village, cultivant du mil et élevant du bétail. **H. J.**

SOURCE : ALICIA VENTRESCA MILLER, UNIVERSITY OF MICHIGAN, ÉTATS-UNIS.

N.ZOUROS/NATURAL HISTORY MUSEUM OF THE LESVOS PETRIFIED FOREST

Le tronc pétrifié a conservé ses racines, branches et même des feuilles.

Cet arbre fossile est vieux de 20 millions d'années

ARCHÉOLOGIE Un arbre fossile de 20 millions d'années a été découvert sur l'île de Lesbos en Grèce, au cœur d'une forêt pétrifiée par une éruption volcanique. C'est le seul jamais retrouvé avec ses racines, son tronc, des branches et des feuilles depuis le début de l'exploitation du site il y a plus de 25 ans. Le site offre un aperçu rare de ce que pouvait être une forêt de l'époque en matière de densité et de taille. **H. J.**

www.sciencesetavenir.fr
www.larecherche.fr
Sciences et Avenir et *La Recherche*
au quotidien

SANTE

L'ADN circulant comme marqueur du cancer

Les modifications de l'ADN liées à l'environnement sont associées à de nombreuses pathologies, notamment les cancers. Des médecins et chercheurs israéliens viennent de montrer que les marques épigénétiques retrouvées sur les fragments d'ADN dans la circulation sanguine permettent de détecter différentes maladies à partir d'une prise de sang. Une découverte au fort potentiel diagnostique expliquée dans un article à lire sur le site de **La Recherche**.
http://bit.ly/3euN1Ej

BSIP

ESPACE

Jupiter, « station-service » pour comètes

Les astéroïdes troyens de Jupiter sont des cailloux vieux de plusieurs milliards d'années partageant la même orbite que la planète. Un intrus vient d'être observé parmi eux grâce au télescope spatial Hubble : il s'agirait d'une comète, qui fait une courte halte parmi ces astéroïdes… sciav.fr/890Jupiter

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ…

2 minutes

Télé. Les chroniques de Camille

Chaque jour, du lundi au vendredi, notre journaliste Camille Gaubert présente une chronique dans *C Jamy* à 17 h sur France 5. Elles sont à revoir sur notre site. sciav.fr/ChroniquesCamille

10 minutes

Santé. Le sprint scientifique du siècle

AFP

En un an, la recherche a fait des prouesses face à l'urgence du Covid-19. Rétrospective des avancées, des premières données chinoises aux variants. sciav.fr/890Covid

15 minutes

Web. Un direct en hebdo sur Twitch

TWICH

Tous les jeudis, à 17 h 30, retrouvez un scientifique invité pour 1 h 30 de direct sur notre chaîne Twitch. Un rendez-vous 100 % interactif à revivre en différé sur notre site. sciav.fr/Twitch

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook

Microbiotes

Comment renforcer notre immunité

Que ce soit dans l'intestin, sur la peau ou dans la bouche, les différents microbiotes du corps humain jouent un rôle fondamental dans la protection contre de nombreuses maladies. Des chercheurs sont parvenus à identifier les bonnes bactéries parmi les milliards qui peuplent nos organes et ils prodiguent des conseils pour améliorer sa flore bactérienne.

Dossier réalisé par
Hugo Jalinière, Coralie Lemke,
Hervé Ratel et Sylvie Riou-Milliot

C'est une extraordinaire *Terra incognita* à découvrir. Tout un monde de vie fait de milliards de bactéries — voire de champignons et de virus — qui vivent et évoluent avec nous. De la naissance à la mort, des écosystèmes de populations bactériennes, connus sous le nom de « microbiotes », coexistent en symbiose avec l'organisme : sur la peau, dans l'estomac, les voies respiratoires, la bouche, les oreilles ou sur les parties génitales. Mais plus encore dans notre intestin : déjà surnommé « notre deuxième cerveau » pour ses 200 millions de neurones, il pourrait aussi être considéré comme « notre deuxième système immunitaire » tant les aptitudes ou les dérèglements de notre immunité semblent dépendre du microbiote intestinal en particulier.

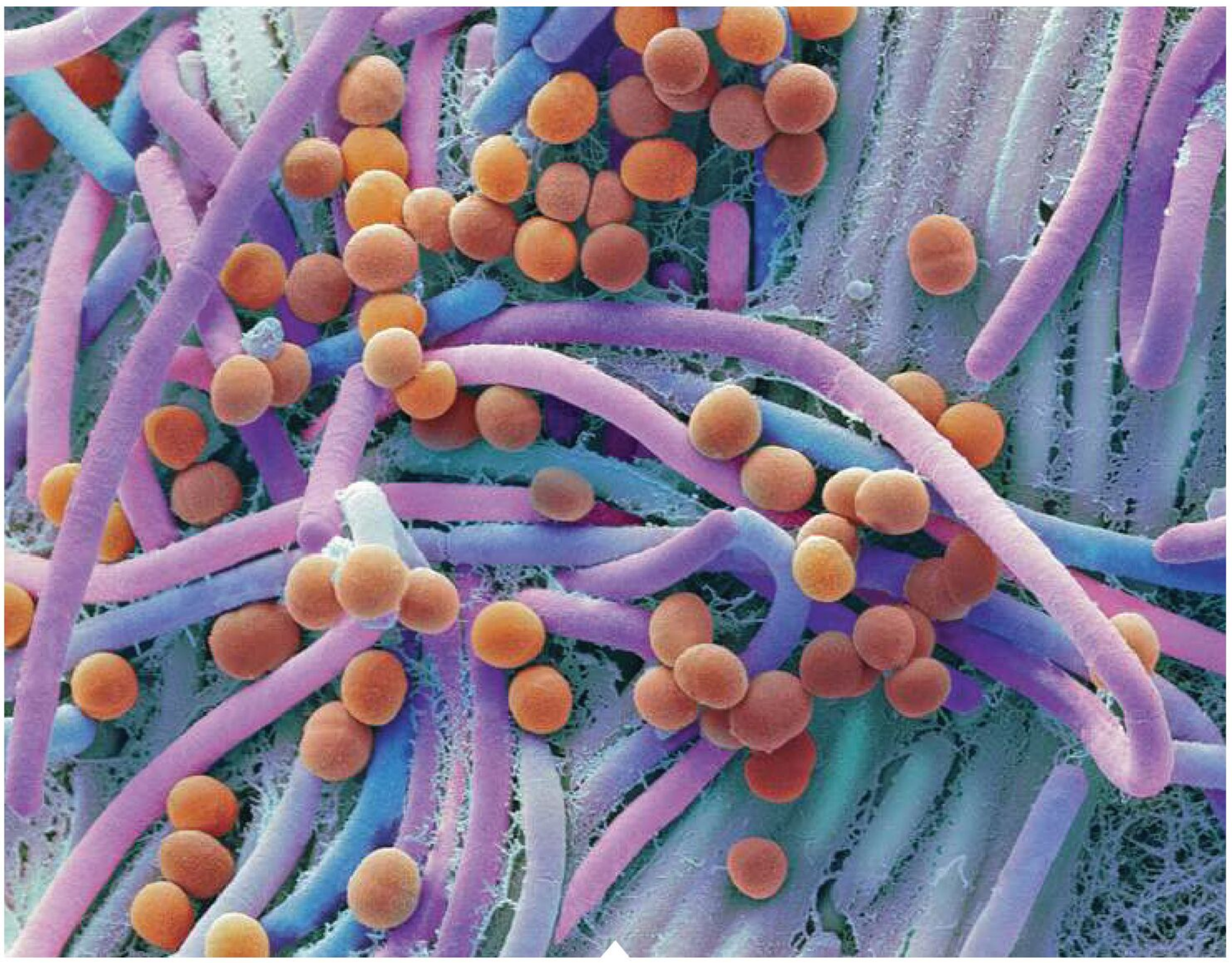
« Les interactions entre nos populations bactériennes et notre immunité sont permanentes, c'est un dialogue dynamique constant qui commence dès la naissance », explique Nadine Cerf-Bensussan, directrice de recherche Inserm et responsable du laboratoire Immunité intestinale à l'institut des maladies génétiques Imagine à Paris. Or, en tant que système destiné à défendre l'organisme contre tout type d'agression, l'immunité est un pivot essentiel de notre santé. En théorie, l'expression de toutes les maladies pourrait donc être prévenue ou traitée à l'aune, entre autres, des interactions du microbiote avec le système immunitaire : allergies, infections virales, diabète, maladies auto-immunes (où le système immunitaire se retourne contre l'organisme) ou neurologiques...

Jusqu'ici, les allergies ou les maladies de l'intestin ont été les premières ciblées,

NADIA RABHI POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

On peut imaginer dans le futur des sortes de pilules adjuvantes de « microbiothérapie » de précision, voire personnalisées, afin de mettre l'organisme dans les meilleures conditions pour se défendre (illustration).

mais certains cancers pourraient rapidement être concernés. Dans la revue *Science* en février, une équipe du Hillman Cancer Center et du National Cancer Institute à Pittsburgh, aux États-Unis, a démontré, pour la première fois chez l'humain, qu'une intervention sur la composition du microbiote intestinal de patients atteints d'un mélanome avancé et ne répondant pas à l'immunothérapie permettait à certains de tirer bénéfice du précieux traitement. Celui-ci consiste en principe à stimuler les cellules du système immunitaire pour qu'elles s'attaquent enfin à la tumeur. Très efficace… chez environ 30 % des patients seulement. Mais en modifiant le microbiote, il est possible de moduler la façon dont le système immunitaire réagit au traitement.



SPL/PHANIE

La transplantation de bactéries bénéfiques à l'organisme a été testée avec succès sur des patients atteints de mélanome avancé (ici vues au microscope électronique).

L'objectif est d'identifier les bactéries alliées

C'est ce qu'a fait l'équipe américaine en transplantant de la matière fécale de patients répondants à ceux résistant à l'immunothérapie. Avec les « bonnes bactéries » issues des premiers, six des 15 patients inclus dans l'étude ont finalement vu leur cancer régresser. La transplantation de microbiote a modifié le microenvironnement de la tumeur de telle sorte que les mécanismes de résistance des cellules cancéreuses ont été levés. « *Nous savons que la composition du microbiote intestinal peut modifier la probabilité de réponse à l'immunothérapie. Mais quelles sont les bonnes bactéries ?* s'interroge Diwaka Dawar, principal auteur de cet essai. *Il y a environ 10 000 milliards de bactéries intestinales et 200 fois plus de gènes bactériens dans le microbiote d'un individu que dans toutes ses cellules réunies* », rappelle le chercheur. Or sur les 15 patients de son étude, neuf n'ont pas tiré profit de la transplantation. De fait, la technique paraît un peu rudimentaire à l'heure de la médecine de précision. Car pour faire de nos bactéries « les meilleures alliées de notre santé », comme on l'entend parfois, il faudra comprendre comment composer chez chacun le bon équilibre entre les différentes espèces de bactéries en fonction de l'effet précis recherché sur le système immunitaire. En quelque sorte, il faut déchiffrer la langue qu'elles utilisent pour dialoguer avec nos cellules immunitaires, et, surtout, identifier lesquelles peuvent vraiment être des alliées.

Or si l'intestin conserve un rôle central, cela vaut aussi de plus en plus pour d'autres microbiotes. La bactérie buccale *Porphyromonas gingivalis* (pg) par exemple, connue pour provoquer des gengivites, est devenue une des nombreuses cibles dans la maladie d'Alzheimer car les toxines qu'elle produit ont été retrouvées dans le cerveau de patients. Autre exemple, la fonction barrière de la peau contre les agressions extérieures, connue d'évidence depuis longtemps, se révèle épaulée, elle aussi, par son propre microbiote, peuplé lui de 1000 milliards de bactéries. D'abord parce que celles-ci ▶

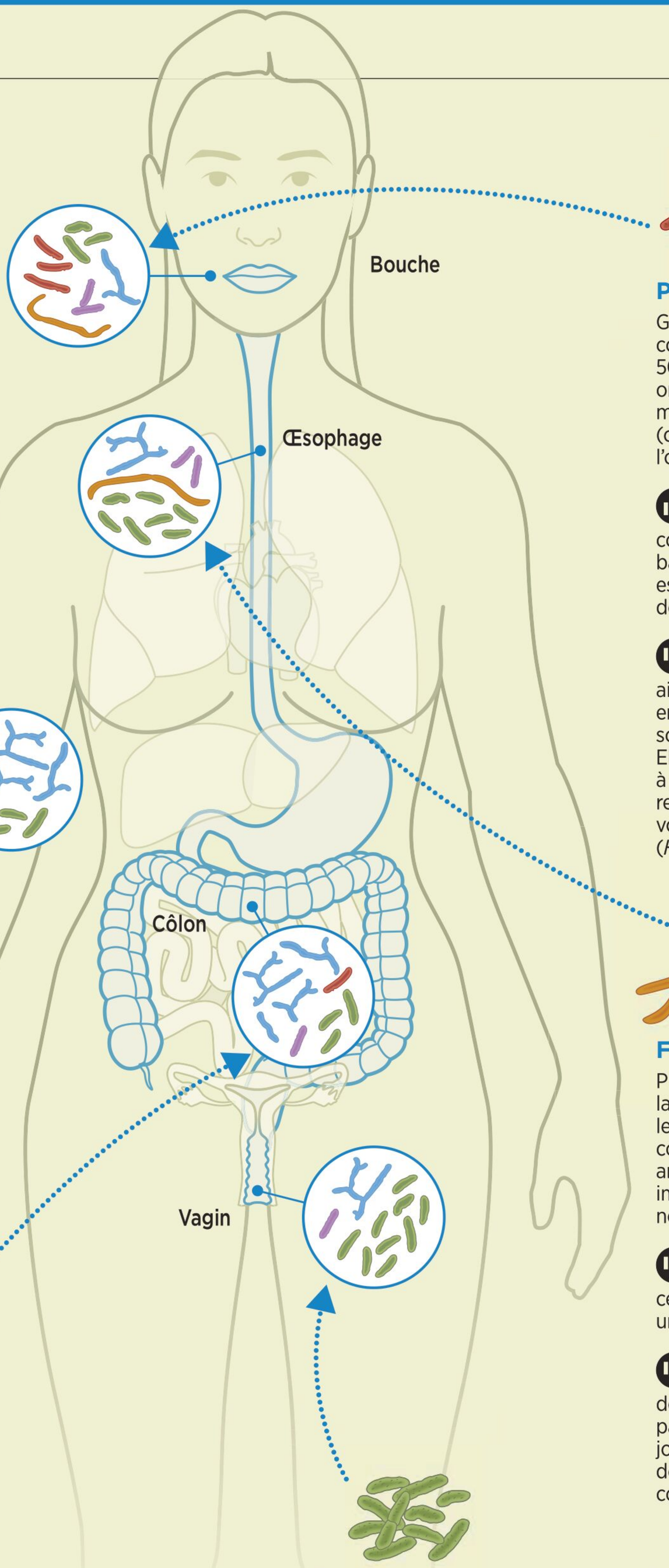
UNIVERSITY OF PITTSBURGH

« La composition du microbiote intestinal peut modifier la probabilité de réponse à l'immunothérapie »

Diwaka Dawar, professeur de médecine assistant l'université de Pittsburgh, États-Unis

Cinq groupes bactériens à la loupe

Tout un monde que celui des bactéries qui peuplent nos organes ! L'identité et l'implication de ces hôtes dans notre santé se dévoilent de plus en plus. Tour d'horizon des cinq principaux groupes bactériens qui nous habitent, nous assistent et, parfois, nous nuisent. ■ H. R.

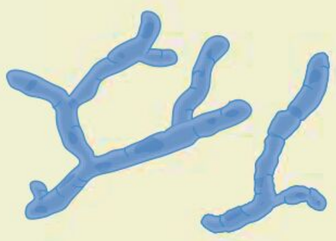


Protéobactéries

Groupe très riche comprenant près de 5000 espèces, ces organismes ont des métabolismes très divers (certains respirent de l'oxygène, d'autres du soufre).

Très varié, compte de nombreuses bactéries commensales dont des bactéries acétiques, essentielles pour l'équilibre de la flore intestinale.

Escherichia coli, les salmonelles, *Legionella* ainsi que les *Helicobacter*, entre autres pathogènes sont des protéobactéries. Elles sont souvent associées à des dysfonctions des voies reproductrices chez la femme voire au cancer de l'estomac (*Helicobacter pylori*).

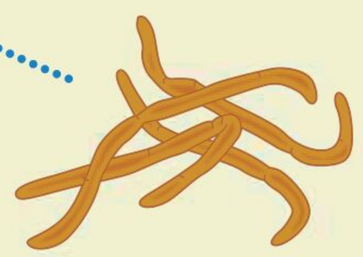


Actinobactéries

Ce groupe constitue la majorité des bactéries de la peau et des cheveux. on le retrouve aussi en grande quantité dans l'estomac et les narines. Présentes également dans le sol, elles dégradent les matières organiques.

Elles sont la source de beaucoup d'antibiotiques. Notamment la famille des *streptomycetaceae* qui a fourni la streptomycine, premier antibiotique contre la tuberculose.

Elles peuvent être pathogènes, responsables de maladies des gencives et de certaines fibroses.



Fusobactéries

Présent essentiellement dans la bouche et l'œsophage, le genre *Fusobacterium* comprend des bactéries anaérobies essentiellement impliquées dans de nombreuses pathologies.

Le consensus scientifique tend à considérer ces bactéries comme uniquement pathogènes.

Elles sont associées à plusieurs maladies dont certains ulcères, des parodontites, et pourraient jouer un rôle dans le développement de cancers colorectaux.

Bacteroidetes

C'est dans le côlon que l'on retrouve essentiellement ces bactéries. On en dénombre environ 100 milliards par gramme d'intestin. Elles colonisent quantité d'autres biotopes, notamment les champs cultivés ou les océans.

La plupart des bactéries de ce groupe ne sont pas pathogènes et sont essentielles au bon fonctionnement gastro-intestinal.

Leur raréfaction est associée à l'obésité.

Firmicutes

Constituant l'essentiel de la population bactérienne vaginale, ce groupe est aussi très présent dans l'œsophage et le nez.

La présence de bactéries lactobacilles dans le nez semble protéger des sinusites chroniques et des inflammations du tractus respiratoire.

Le groupe compte des individus très pathogènes, notamment les espèces du genre *Clostridium* (responsables de gangrènes, de tétanos ou de botulisme) ou le staphylocoque doré.

BRUNO BOURGEOIS POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

P. DELAPIERRE/ INSERM

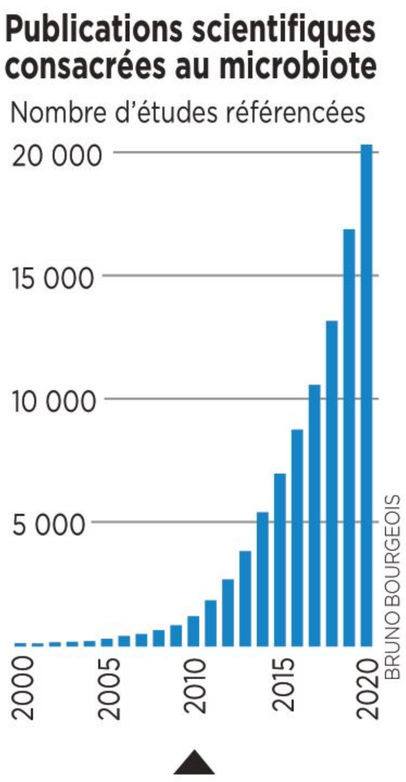
« Les bactéries et leurs hôtes ont développé des interactions qui bénéficient à chacun des partenaires »

Nadine Cerf-Bensussan, directrice de recherche Inserm, responsable du laboratoire Immunité intestinale à l'Institut Imagine (Paris)

occupent la place et réduisent de fait la possibilité pour des pathogènes extérieurs de venir se fixer à l'épiderme. Le microbiote cutané synthétise par ailleurs des molécules toxiques et possède lui-même un rôle antibactérien contre des espèces étrangères. Dans le même temps, les « bonnes » bactéries restent en interaction constante avec les cellules immunitaires présentes dans toutes les couches de la peau. Plusieurs études suggèrent ainsi l'existence d'une relation entre les perturbations dans la composition du microbiote cutané et le développement de troubles tels que le psoriasis, la dermatite atopique ou certaines allergies. Là aussi, il faudra déchiffrer la langue de ce dialogue et situer le tout dans un contexte : l'environnement extérieur.

« *Au cours de leur longue coévolution, les bactéries et leurs hôtes ont développé des interactions mutualistes, notamment fondées sur des échanges de nutriments et de métabolites, qui bénéficient à chacun des partenaires* », explique Nadine Cerf-Bensussan. Au-delà des muqueuses abritant les niches bactériennes, ce sont en effet les produits du métabolisme de ces micro-organismes, plus petits, qui passent dans le sang pour activer et moduler le système immunitaire périphérique. « *le chiffre reste à évaluer précisément, mais certains estiment que 50 % des métabolites présents dans le sang proviennent de nos bactéries* », précise la chercheuse. L'alimentation, elle, a une influence sur le métabolisme des bactéries et donc sur la nature des métabolites relâchés dans la circulation irriguant tous les organes. Les repas trop riches en graisses et en sucres tendent à favoriser la sélection de bactéries pro-inflammatoires. En définitive, la santé de l'organisme se retrouve « intriquée » avec cet « environnement intérieur » un peu de la même façon qu'avec l'environnement extérieur (pollutions, alimentation, tabagisme, etc.).

Rares sont les certitudes de ce point de vue pour « prendre soin de son microbiote ». Mais on peut citer une activité physique régulière et une alimentation équilibrée soignant en particulier les apports en fibres à hauteur de 25 à 30 grammes par jour (haricots blancs, figues sèches, pruneaux, lentilles, artichauts, germes de blé ou avoine... *lire aussi p. 31*). Reste que pour l'heure, l'essentiel des connaissances sur les relations causales des interactions microbiotes-immunité provient de travaux chez la souris. Il est très facile chez cet animal de retirer le microbiote puis de le reconstituer avec des bactéries choisies pour en étudier les mécanismes. Chez l'humain, c'est plus compliqué, et l'on a surtout des corrélations. Mais avec l'explosion du nombre de publications sur le sujet, certaines d'intérêt commencent à émerger.



En six ans, le nombre de publications consacrées au microbiote a quadruplé, passant d'un peu plus de 5000 en 2014 à plus de 20 000 en 2020.

Des pilules adjuvantes de « microbiothérapie »

Dans *Nature* en novembre 2020, une équipe du prestigieux Memorial Sloan Kettering Cancer Center à New York (États-Unis) a ainsi montré pour la première fois chez l'humain que le microbiote intestinal façonne directement la composition du système immunitaire. Les données recueillies sur dix ans proviennent en effet de 2000 patients atteints de cancer, dont les traitements avaient conduit à une chute drastique et simultanée des populations bactériennes et des cellules du système immunitaire. Les chercheurs ont ainsi pu observer et décrire cette coévolution après la « réinitialisation » de l'un et de l'autre.

De là, le chemin est encore long avant de développer des cocktails dosés des bactéries capables d'induire un développement équilibré des réponses immunes. Que ce soit dans l'intestin, sur la peau, les voies respiratoires ou autres. Mais on peut ainsi imaginer dans le futur, des sortes de pilules adjuvantes de « microbiothérapie » de précision, voire personnalisées, afin de toujours mettre l'immunité dans les meilleures conditions environnementales intérieures possibles pour garder la santé. Et pourquoi pas... des apports recommandés en microbes. ■ **H. J.**

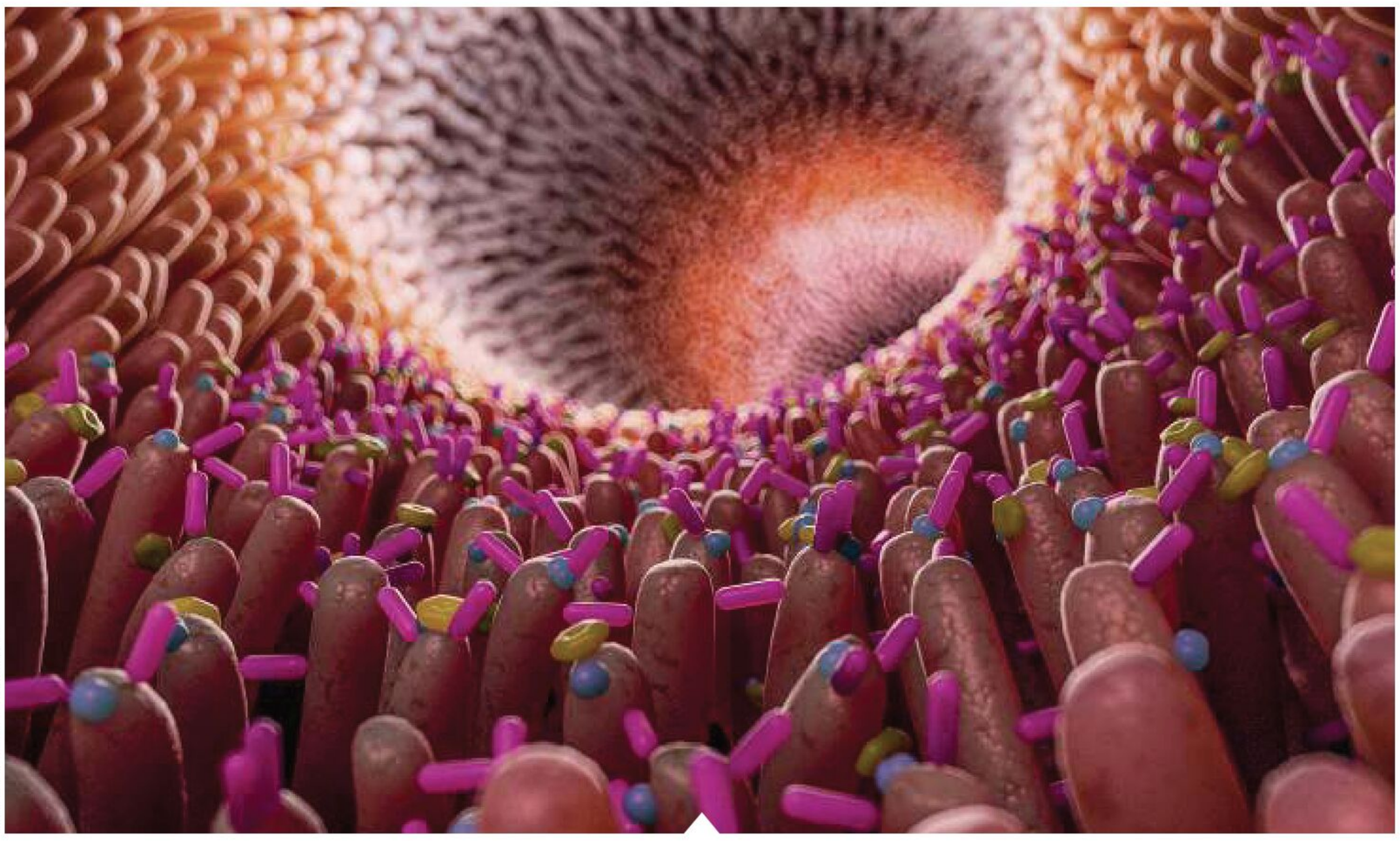
ANALYSES

Tester son microbiote ? À éviter

« *Inutiles* » : tel est le verdict sans appel de la Société nationale française de gastro-entérologie (SNFGE) vis-à-vis de tests proposant l'analyse du microbiote intestinal. « *Aucun intérêt clinique ni pour le patient, ni pour le médecin et par conséquent, ils ne doivent pas être prescrits* », précise l'avis paru en 2020. Si de nombreuses études ont suggéré que le microbiote pourrait servir de marqueur diagnostique, pronostique ou thérapeutique, le niveau de preuve de ces travaux reste largement insuffisant. À ce jour, aucun consensus n'a établi les critères d'un microbiote « normal » et les analyses individuelles sont donc inexploitables. Cela n'empêche pas des laboratoires autoproclamés « experts en microbiote » qui proposent sur Internet des kits d'analyses moyennant quelques centaines d'euros et sans prescription médicale. S. R.-M.

La sévérité du Covid-19 serait liée aux microbiotes

Des chercheurs ont mis en avant le rôle prépondérant des bactéries intestinales voire respiratoires dans l'aggravation de la maladie.



SCIENCE PHOTO LIBRARY

Un déséquilibre du microbiote intestinal entraînerait une réponse immunitaire moindre face au coronavirus.

Le tropisme du Covid-19 s'étend bien au-delà des voies respiratoires, principales cibles de l'infection. Des cellules cardiaques à celles du cerveau et, plus fréquemment encore, dans le système digestif, le Sras-CoV-2 a tendance à s'immiscer un peu partout... Ce qui a donné à quelques équipes l'idée d'observer de plus près ce qui se passe dans le microbiote intestinal des patients touchés par le coronavirus. Car outre les atteintes directement provoquées par la présence du virus dans les tissus, l'année de pandémie a mis en lumière le rôle prépondérant des réponses immunitaires mal contrôlées dans l'aggravation de la maladie. Or, certains travaux chez la souris ont déjà montré une relation étroite entre la réponse à une infection virale, par exemple la grippe, avec la flore intestinale voire respiratoire.

Dans la revue *Gut*, une équipe de Hong Kong rapporte avoir collecté des échantillons de sang et de selles chez une centaine de patients hospitalisés. La composition des microbiotes intestinaux a été caractérisée par séquençage de l'ADN total extrait des selles, tandis qu'étaient mesurées la concentration de marqueurs sanguins de l'immunité et celle de cytokines inflammatoires, des protéines qui régulent l'activité cellulaire du système immunitaire. « *Les corrélations entre la composition du microbiote intestinal, les niveaux de cytokines et ces marqueurs inflammatoires chez les patients atteints du Covid-19 suggèrent que le microbiote est impliqué dans l'ampleur de la gravité de la maladie, possiblement par la modulation des réponses immunitaires de l'hôte* », écrivent les auteurs.

Des bactéries bénéfiques inférieures en nombre

Plus étonnant encore : selon l'équipe, « *la dysbiose* [altération] *de la flore intestinale après la résolution de la maladie pourrait contribuer à des symptômes persistants* ». Alors que certaines équipes évoquent la « trace » laissée dans le système immunitaire par l'infection pour expliquer les cas de Covid long, les bactéries intestinales voire respiratoires apparaissent ainsi comme une piste crédible. Concrètement, les patients présentaient un nombre inférieur de bactéries bénéfiques comme les *Lactobacillus* et les *Bifidobacterium* (que l'on trouve dans les aliments fermentés et que nos apports en fibres permettent de favoriser). Dans une autre étude similaire, des chercheurs chinois notent, eux, une augmentation de la présence de bactéries dites opportunistes (*Streptococcus*, *Rothia*, *Veillonella* et *Actinomyces*), normalement présentes dans l'organisme, mais qui peuvent devenir nocives à l'occasion d'une perturbation du microbiote. Faudra-t-il pour autant adapter son alimentation pour être plus résistant au Covid ? Peut-être, mais il est trop tôt pour dire comment. En revanche, ces travaux pourraient permettre, à l'inverse, d'identifier des profils de microbiote correspondant à un facteur de risque. ■ **H. J.**

@hugojaliniere

L'intégration de différents groupes alimentaires dans le régime du bébé lui permet d'acquérir un bon microbiote, nécessaire au développement des défenses immunitaires.
◄

JANA KAY/PLAINPICTURE

Les pistes pour améliorer notre microbiote

Mise en place d'une alimentation diversifiée chez le nourrisson, absorption de nouvelles bactéries grâce aux probiotiques ou encore remplacement complet de la flore intestinale… De nombreuses recherches montrent que l'on peut agir.

DANS LA VIE, tout est une question d'équilibre… et en particulier dans le microbiote intestinal. Lorsqu'elle est bien proportionnée, la flore bactérienne peut nous aider à lutter contre les maladies immunes chroniques *(lire p. 27)*. Aussi, quelles sont les marges de manœuvre pour l'« améliorer », c'est-à-dire assurer sa diversification afin qu'elle dope notre système immunitaire ? Tout commence chez le nouveau-né. Le microbiote, en effet, se constitue au moment de l'accouchement, grâce aux bactéries vaginales de la mère. Et c'est dès cet instant que des déséquilibres peuvent survenir. Selon une étude de l'University College de Londres (Royaume-Uni) publiée en 2019, les bébés nés par césarienne acquièrent d'abord des bactéries liées à l'environnement hospitalier. Conséquence : leur microbiote est appauvri en bactéries bénéfiques pour la santé et peut se voir colonisé par des bactéries vecteurs de maladies nosocomiales. Même si les différences ont tendance à s'estomper avec le temps, les résultats pourraient expliquer la prévalence plus élevée de l'asthme, des allergies et d'autres maladies immunitaires chez les enfants nés par césarienne.

Cette population initiale se transforme ensuite lors des premiers mois de la vie, au moment où le régime alimentaire du nourrisson se diversifie. L'introduction de différents groupes d'aliments est indispensable à la formation d'un bon microbiote. Et l'âge auquel elle se produit est crucial, selon une étude de l'Institut Pasteur publiée en 2019. En travaillant sur un modèle de souris, des chercheurs ont déterminé qu'un développement important des

défenses immunitaires protégeant de certaines maladies inflammatoires, comme les allergies intestinales, les colites ou le cancer colorectal, se produit en même temps qu'une croissance exceptionnelle du microbiote, où le nombre de bactéries augmente jusqu'à 100 fois.

Ce phénomène se produit durant une période bien déterminée : entre 2 et 4 semaines chez la souris. Chez l'humain, cela correspond à un âge compris entre 3 et 6 mois, c'est-à-dire le moment où d'autres aliments que le lait sont introduits dans le régime du bébé : fruits, légumes, céréales... Dans quel ordre, à quel moment ? Les recommandations évoluent régulièrement. Les dernières directives du Haut Conseil de la santé publique (HCSP) conseillent d'introduire les fruits, légumes, produits laitiers, pommes de terre, céréales, légumes secs, mais aussi les viandes, poissons, œufs et matières grasses à partir de 4 mois. Mais aucun ordre ni rythme particulier ne sont recommandés. Plusieurs aliments peuvent être mis dans l'assiette au même moment. L'essentiel étant de ne pas diversifier les repas trop tardivement.

Ingérer des micro-organismes bénéfiques

La composition du microbiote intestinal évolue ensuite qualitativement et quantitativement pendant les premières années de vie avant de se stabiliser. À l'âge adulte, il compte 10 000 milliards de bactéries et pèse en moyenne deux kilos ! Et il est donc plus ou moins équilibré. Comment peut-on alors le modifier pour corriger son altération (dysbiose) et tenter d'aider à lutter contre certaines maladies ? La première piste consiste à essayer d'introduire par la voie alimentaire de nouvelles bactéries, les probiotiques. « *Il s'agit de micro-organismes dont l'administration induit un bénéfice dans l'organisme de la personne qui les ingère* », explique Philippe Langella, directeur du Laboratoire des interactions des commensales et probiotiques avec l'hôte à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae). Chaque probiotique est composé d'une ou de différentes souches de bactéries et s'administre comme un médicament, sous forme de gélule. « *Ces dernières années, de nombreux probiotiques ont fleuri et le marché est en pleine expansion dans le monde entier* », note-t-il. Mais il faut rester prudent car, pour pouvoir mettre leurs produits en vente, les différents fabricants n'ont pas l'obligation de présenter des travaux sur leur efficacité, même si certains le font pour s'assurer une caution scientifique. Reste qu'à ce jour, sur plusieurs centaines de dossiers soumis à l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA), un seul a fait l'objet d'une validation. Il concerne deux bactéries contenues dans les yaourts (et présentes également dans certains probiotiques vendus en pharmacie) : *Lactobacillus delbrueckii bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*. Leur bénéfice a été démontré chez les personnes intolérantes au lactose. Celles-ci présentent une carence en lactase, une enzyme qui permet de digérer les produits laitiers. Or les bactéries présentes dans le yaourt contiennent justement les enzymes nécessaires ▸

Le plein développement des défenses immunitaires protégeant de certaines maladies inflammatoires se produit en même temps qu'une forte croissance du microbiote chez le bébé

RECOMMANDATIONS

Les bons réflexes à adopter

PHANIE

L'alimentation

Le régime alimentaire doit être équilibré et intégrer des aliments riches en prébiotiques, des substances favorables au développement du microbiote. Il s'agit des légumes, des légumineuses, des racines, des fruits, des graines et des oléagineux. Les yaourts sont quant à eux une source de probiotiques dont l'effet bénéfique a été démontré dans certaines pathologies.

PLAINPICTURE

L'activité physique

Les contractions musculaires et la consommation d'oxygène associée induisent des changements positifs dans le profil du microbiote intestinal. Il faut privilégier une activité physique régulière modérée (vélo, natation, gym douce ou marche rapide), les exercices trop intenses risquant à l'inverse d'agresser les bactéries bénéfiques.

PLAINPICTURE

Le sommeil

Le stress et les troubles anxieux dépendent des équilibres microbiotiques. Les micro-organismes du tube digestif participent à la régulation de la sérotonine, un neurotransmetteur qui interagit avec l'hormone du sommeil. À l'inverse, en augmentant la qualité et la durée du sommeil, la diversité du microbiote s'accroît et favorise un sommeil réparateur.

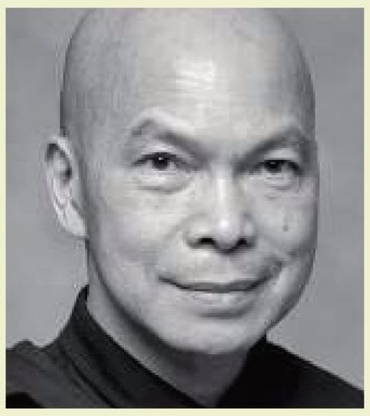
SOPHIE MARRE

SOPHIE MARRE, PIERRE PEYRET

UMR 0452 MICROBIOLOGIE, ENVIRONNEMENT DIGESTIF, SANTÉ, UNIVERSITÉ DE CLERMONT-AUVERGNE

La chaleur des grils et barbecues et les additifs alimentaires perturbent le microbiote

Chacun possède son propre microbiote intestinal, et à l'image de nos empreintes digitales, les différences entre deux individus sont grandes, tant en matière de diversité que d'abondance d'espèces. Ce microbiote est modulé par la qualité de notre alimentation. De nombreux travaux ont démontré que divers composés potentiellement toxiques, présents dans l'alimentation, peuvent interagir avec les micro-organismes qui peuplent nos intestins. L'influence de ces composés, comme d'autres polluants, demeure mal connue : ce domaine de recherche étant récent et en pleine expansion. Prenons l'exemple des traitements thermiques des aliments : gril, barbecue ou fumage. Nos travaux ont montré *in vitro* que des substances produites par la chaleur, des amines hétérocycliques et le benzo[a]pyrène (un hydrocarbure aromatique polycyclique), modifient les fonctions du microbiote intestinal humain en perturbant son équilibre. D'autres expériences ont mis en évidence des dérèglements semblables avec des additifs alimentaires tels que les émulsifiants (polysorbate 80, carboxyméthylcellulose), les édulcorants et colorants. Or un déséquilibre persistant du microbiote intestinal peut conduire directement ou indirectement à diverses pathologies. Aujourd'hui, nous observons, comme pour les traitements médicamenteux, que certains individus seraient plus sensibles que d'autres à ces composés, les fonctions de certaines espèces pouvant amplifier ou à l'inverse diminuer l'effet délétère des



ANH-TUAN DINH XUAN

PR ANH-TUAN DINH XUAN

CHEF DU SERVICE DE PHYSIOLOGIE, EXPLORATIONS FONCTIONNELLES DE L'HÔPITAL COCHIN (PARIS)

Les bactéries pulmonaires interagissent avec le système immunitaire

Longtemps, l'enseignement médical est resté ancré sur le dogme suivant "*un poumon sain est un poumon stérile*". Ce n'est qu'en 2011 que la première étude d'envergure a inclus le microbiote pulmonaire. Avec l'augmentation des maladies respiratoires chroniques (asthme, bronchopneumopathie chronique, etc.) et le développement des techniques de biologie moléculaire, on s'y est enfin intéressé. Le poumon, avec ses 100 m² de surface d'échanges gazeux entre air ambiant et sang capillaire chez l'adulte, est un espace immense pour les bactéries, les virus, les particules fines de la pollution. Aujourd'hui il est bien établi que ce microbiote interagit intimement avec le système immunitaire dans la reconnaissance des germes pathogènes et la défense de l'organisme. On parle de symbiose pour un état d'équilibre, de dysbiose en cas de déséquilibre. Quels que soient les mécanismes responsables de l'altération du microbiote pulmonaire "physiologique", le résultat est toujours une dysbiose. Un terme qui traduit une perte d'équilibre vis-à-vis des germes commensaux, habituels, favorisant l'installation de nouveaux germes souvent pathogènes. Ce qui conduit soit à la survenue d'une infection aiguë, soit à l'aggravation d'une réaction inflammatoire préexistante, et explique les exacerbations de maladies comme l'asthme, la bronchopneumopathie chronique obstructive ou la mucoviscidose. Ces trois pathologies se caractérisent par une inflammation chronique d'importance variable entrecoupée d'épisodes d'exacerbation, dus à des surinfections, ou une aggravation de l'inflammation de base favorisée par la dysbiose, chaque épisode d'exacerbation faisant passer la maladie à un stade de sévérité supérieure. De récents travaux ont

contaminants chimiques alimentaires.
C'est tout l'enjeu des travaux à venir : comprendre le dialogue entre le microbiote intestinal et son hôte.
Dans le futur, il sera aussi nécessaire de mieux caractériser les structures du microbiote au niveau de l'espèce, ainsi que ses fonctions. Alors on saura mieux comment le moduler mais aussi définir de nouvelles perspectives de prévention et de traitements, comme des interventions nutritionnelles, l'administration de probiotiques, mais aussi la transplantation fécale afin de rétablir l'ensemble de ses fonctions essentielles. *(Lire ci-contre.)* » ■

Propos recueillis par S. R.-M.

aussi évoqué le rôle d'un déséquilibre du microbiote dans le développement de cancers de type adénocarcinome, le dysfonctionnement de la réponse immunitaire locale faisant intervenir ici différentes protéines pro-inflammatoires.
On sait aujourd'hui que chaque individu possède son propre microbiote pulmonaire dont la composition dépend de nombreuses conditions — température, acidité, pression en oxygène et bien sûr, concentration en polluants de l'air respiré.
À l'avenir sans doute, des cartes d'identité individuelles du microbiote pulmonaire pourront permettre de mieux guider les traitements dans le cadre d'une médecine personnalisée. » ■

Propos recueillis par S. R.-M.

- pour dégrader l'aliment durant la digestion.

Une interpréation objective difficile à faire

Si les résultats scientifiquement étayés restent peu nombreux, la piste des probiotiques demeure prometteuse et les recherches dans le domaine ne manquent pas. Une méta-analyse publiée en 2020 dans la revue *Heliyon* rapporte que plus de 1000 essais cliniques sont en cours, ciblant plus de 700 maladies. Certaines souches en particulier sont étudiées, comme le *Lactobacillus rhamnosus GG* (déjà commercialisé dans de nombreux compléments alimentaires) pour la prévention des effets indésirables liés aux antibiotiques, les allergies, le rhume ou encore les troubles du transit. Mais aussi le *Bifidobacterium animalis ssp. lactis BB12* (intégré aux yaourts Activia de Danone) pour les allergies des nouveau-nés, les infections des voix supérieures, l'excès de cholestérol sanguin ou la santé bucco-dentaire. Problème, d'après la conclusion d'une large méta-analyse publiée dans la revue *Nature Medicine* par des chercheurs de l'institut Weizmann à Rehovot (Israël), *« les données sur les probiotiques, les croyances personnelles, les preuves solides, l'intuition et les intérêts commerciaux, associés à un manque de réglementation médicale, sont souvent entremêlés de manière à rendre une interprétation objective quasiment impossible »*. Les auteurs insistent néanmoins sur l'espoir que représente le séquençage des gènes des bactéries mais aussi celui du microbiote des patients afin de mieux cibler les recherches.
En attendant, pour que les professionnels et les particuliers s'y retrouvent dans la jungle des probiotiques présents sur le marché, l'American Gastroenterological Association (AGA) a publié en 2020 de nouvelles directives pour l'utilisation de ces gélules. Trois indications ont été validées par les spécialistes : la prévention de l'infection à *Clostridioides difficile* chez les adultes et les enfants prenant des antibiotiques, la prévention de l'entérocolite nécrosante chez les prématurés (ou les nourrissons de faible poids à la naissance) et la prise en charge de la pochite, une complication de la maladie inflammatoire de l'intestin. La Société nationale française de gastro-entérologie (SNFGE) considère de son côté que pour le syndrome de l'intestin irritable, les probiotiques — notamment *Bifidobacterium animalis* — *« sont à tester en traitement d'appoint, de façon empirique au cas par cas. Chez certaines personnes, les symptômes digestifs sont améliorés. »* Elle estime également que le zinc est efficace chez les enfants atteints de maladie de Wilson, une affection génétique caractérisée par l'accumulation toxique de cuivre dans l'organisme.

Plus de 1000 essais cliniques concernant les probiotiques sont en cours ciblant plus de 700 maladies

Remplacer le microbiote d'un patient malade

En revanche, les gastro-entérologues américains estiment que les preuves demeurent insuffisantes pour recommander les probiotiques dans le traitement de la maladie de Crohn, de la colite ulcéreuse, du syndrome du côlon irritable et de l'infection à *Clostridioides difficile*. *« Les patients prenant des probiotiques pour ces affections devraient envisager d'arrêter*, explique la présidente du Comité des lignes directrices, Grace L. Su, de l'université du Michigan (États-Unis). *Les sup-*

pléments peuvent être coûteux et il n'y a pas suffisamment d'éléments pour prouver un avantage ou confirmer l'absence d'effets négatifs. »
Autre voie, plus radicale : la transplantation fécale qui consiste à remplacer le microbiote d'un patient malade par celui d'un sujet sain. Encore expérimentale, elle a déjà donné chez l'humain des résultats prometteurs dans certaines pathologies. Il s'agit d'administrer une préparation à base de selles d'un donneur sain chez un receveur afin de rééquilibrer son microbiote. Pour le moment, une seule maladie bénéficie d'une indication pour la greffe fécale : l'infection multirécidivante par la bactérie *Clostridioides difficile* qui provoque crampes, fièvres et diarrhées, parfois sanglantes. L'incidence de cette maladie est chiffrée à 84 cas pour 100 000 aux États-Unis. « *Il faut imaginer l'intestin comme un écosystème. Chacun est à sa place. Dans l'intestin, les bactéries ne peuvent pas proliférer n'importe comment lorsque l'espace est déjà occupé. Mais lors de perturbations, le plus souvent à l'occasion d'une prise d'antibiotiques, un espace va se libérer et certaines bactéries peuvent se multiplier pour prendre cette place* », explique le professeur Harry Sokol, gastro-entérologue à l'hôpital Saint-Antoine, à Paris, et président du Groupe français de transplantation fécale (GFTF). Quand la bactérie *Clostridioides difficile* se multiplie, elle entraîne une inflammation du côlon à l'origine de la maladie. « *Pour éliminer ce déséquilibre, il faut paradoxalement utiliser des antibiotiques, qui vont supprimer la bactérie mais aussi beaucoup d'autres populations. L'élimination de ces autres populations laisse une place pour la prolifération d'autres bactéries, ce qui peut à nouveau entraîner un déséquilibre.* » Dans les travaux menés par Harry Sokol, 80 % des patients ont connu une amélioration après la greffe fécale.

APHP-ST ANTOINE-GARO/PHANIE

Le microbiote fécal d'un donneur sain, transplanté dans le tube digestif d'un patient atteint d'une infection à « Clostridioides difficile », permet de rééquilibrer la flore intestinale de ce dernier (ici, à l'hôpital Saint-Antoine, à Paris).

La greffe fécale, une piste pour la maladie de Crohn

D'autres travaux explorent les apports de la greffe fécale contre les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (MICI). « *Quatre essais randomisés* [deux en Australie, un au Canada et un aux Pays-Bas] *ont été menés dans la rectocolite hémorragique pour calmer l'inflammation chez des patients lors de poussées* », détaille Harry Sokol. Et trois sur quatre ont montré une supériorité de la greffe fécale par rapport à un placebo. « *Ces études ont montré une rémission chez 20 à 30 % des patients. C'est bien mieux que les 5 à 10 % chez les personnes qui ont reçu le placebo. Mais ces résultats restent loin de ceux obtenus dans l'infection récidivante à* C. difficile », nuance le spécialiste. La raison d'une telle différence : cette maladie est liée à 100 % au microbiote tandis que pour la rectocolite hémorragique, les bactéries de notre intestin ne sont qu'un des acteurs de la maladie.
En 2020, un essai clinique mené par Harry Sokol a également ouvert des pistes dans le traitement de la maladie de Crohn grâce à la greffe fécale. « *On a vu dans cette étude exploratoire que les patients ayant reçu la transplantation récidivent moins vite et cicatrisent mieux au niveau du côlon que ceux du groupe placebo.* » La transplantation fécale est aussi envisagée hors du domaine de la gastro-entérologie. Diabète, obésité ou encore réaction du greffon contre l'hôte sont autant de pathologies dans lesquelles la greffe fécale pourrait, à terme, changer la donne. ■ **C. L.**

@CoralieLemke

ÉPIDÉMIOLOGIE

Un rôle dans le développement de l'obésité ?

Et si le microbiote était le vecteur de l'obésité, de certaines pathologies cardio-vasculaires, voire plus généralement de maladies considérées pour l'instant comme non transmissibles (que l'on distingue des maladies comme la varicelle, le Covid-19 ou le VIH qui se transmettent par des contacts directs ou indirects selon les cas) ? C'est en tout cas la piste explorée notamment par des chercheurs canadiens de l'University of British Columbia à Vancouver. En janvier 2020, ils suggéraient dans la revue *Science* que les maladies non transmissibles pourraient malgré tout se transmettre d'une personne à une autre *via* les populations de bactéries présentes dans nos intestins. « *Des colocataires ou des époux ont un microbiote plus similaire que des frères ou des sœurs dont le génome est beaucoup plus proche mais qui vivent séparément. Comme les familles partagent leur régime alimentaire et leur environnement, leurs microbiotes se ressemblent plus* », expliquaient les chercheurs. Des modèles animaux ont montré qu'une transplantation de microbiote déséquilibré entraînait des maladies non transmissibles chez les animaux sains. Ainsi, pour l'obésité, la preuve de sa transmissibilité est faite chez la souris. Reste à le confirmer chez l'humain. Et à l'explorer pour les maladies cardio-vasculaires, les cancers ou les maladies respiratoires chroniques. **C. L.**

Concepteur
et fabricant
FRANÇAIS

Douches Kinedo

présente

Kinemagic

Pour éviter les chutes dans la salle de bain,

remplacez votre baignoire par une douche luxueuse et sécurisée.

en 48H **pour 0€***

pas d'argent à avancer avec l'aide de

ActionLogement

*sous réserve d'éligibilité et selon modèle

dans la limite du nombre de dossiers autorisés par Action Logement

VU À LA TV

A retrouver actuellement sur vos écrans

Fabrication française

PLUS D'INFORMATIONS

par téléphone

0 800 05 06 07 Service & appel gratuits

par internet

www.kinemagic.fr

par courrier

en retournant la demande de devis personnalisé et gratuit

Coupon à envoyer à :

AQUAPRODUCTION
LIBRE RÉPONSE 51045
44680 SAINTE PAZANNE

PROFITEZ DU PLAN NATIONAL « salle de bains » JUSQU'À 5000€ D'AIDE

❑ Oui, je souhaite en savoir plus sur la douche Kinemagic et bénéficier d'un **DEVIS GRATUIT** sans engagement de ma part.

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

.....

CP : ..... Ville : .....

Téléphone : .....

Email : .....

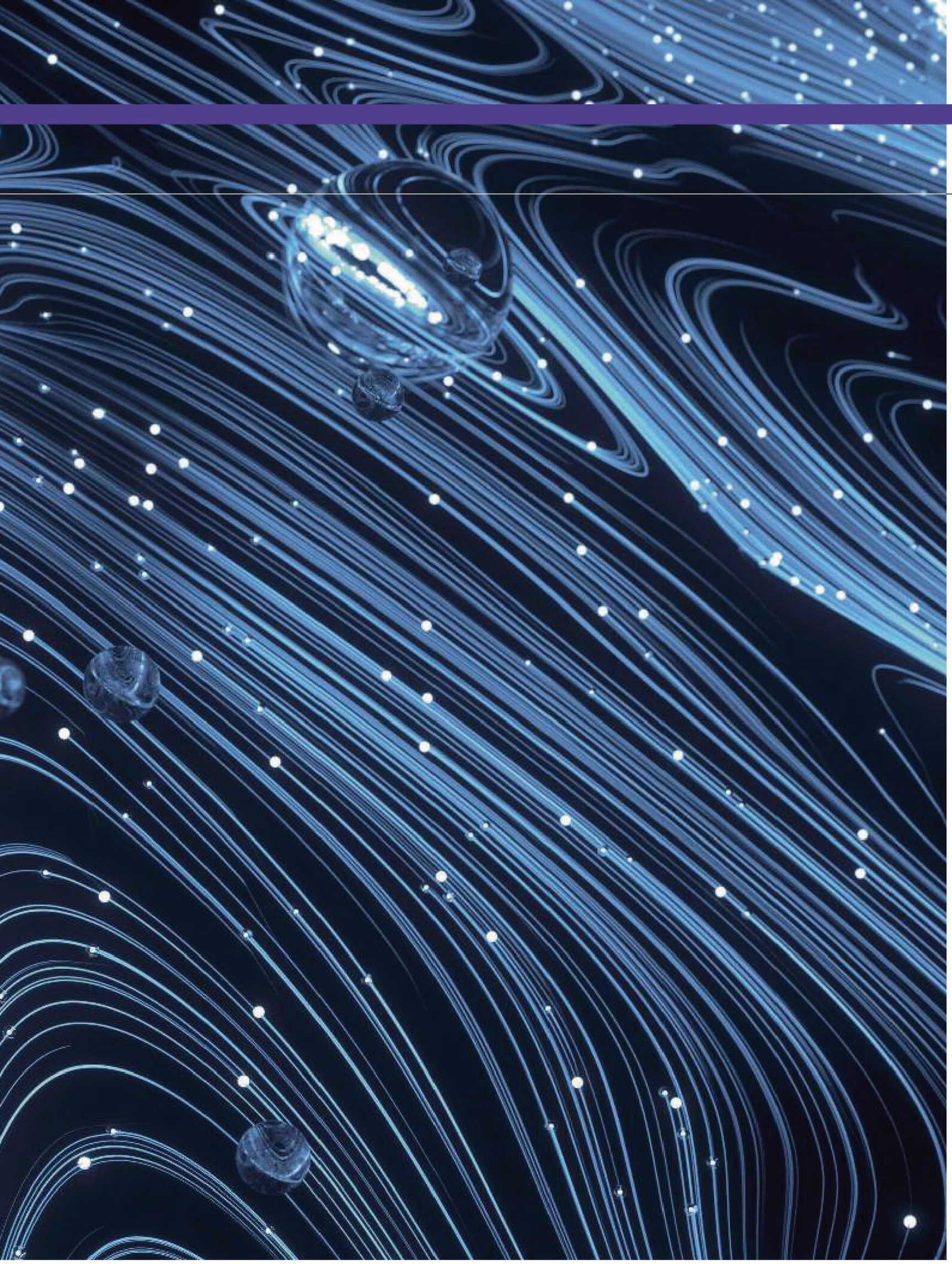
N'affranchissez pas ce courrier, nous vous offrons les frais postaux.

Kinemagic - Paris Match

Des autoroutes invisibles pour visiter l'espace

Des chercheurs ont mis en évidence une structure inédite dans le Système solaire : des courants de gravité dans lesquels les objets se déplacent sous l'effet de l'attraction successive des astres. Les engins spatiaux pourraient-ils les emprunter ? Explications.

Par Marine Benoit @marin_eben



GETTY IMAGES

◀ **Ces courants de gravité** permettent à de petits objets célestes, comme les comètes ou les astéroïdes, de parcourir environ 15 milliards de kilomètres en moins d'un siècle.

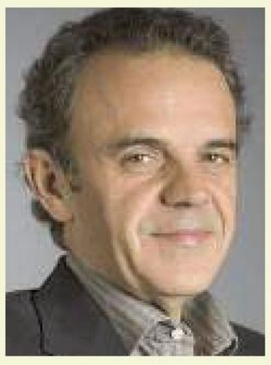
De véritables « portes orbitales » : voilà comment l'on pourrait décrire les raccourcis invisibles qui parsèment l'espace, et notamment notre système solaire. Après les avoir franchies, n'importe quel objet de petite taille se retrouve sur une sorte de tapis roulant qui lui permet de parcourir approximativement 100 fois la distance Terre-Soleil, soit 100 unités astronomiques (UA) ou 15 milliards de kilomètres, en moins d'un siècle, juste en se laissant porter. De quoi relier par exemple la Terre à Neptune en moins de trente ans ! L'existence de ces raccourcis, qui prennent la forme de courants de gravité, avait été évoquée dès 1968 et 1969 par les mathématiciens américains Charles C. Conley et Richard McGehee. À l'époque, leurs publications firent sensation : l'existence de tels courants dans lesquels les objets se déplacent sous l'effet de l'attraction successive des astres qu'ils approchent semblait soudainement évidente alors qu'astronomes et ingénieurs étaient toujours passés à côté ! Cinquante ans plus tard, la nature et le fonctionnement de ces courants de gravité commencent à peine à être compris. Ainsi, fin 2020, une équipe serbo-américaine d'astronomes a mis en évidence une structure inédite dans le Système solaire : un réseau de « tapis roulants » qui s'articule à partir de la ceinture principale d'astéroïdes — située entre Mars et Jupiter — au-delà d'Uranus.

Si ces « tunnels » invisibles intéressent tant les scientifiques, c'est qu'ils pourraient permettre à des engins spatiaux de se déplacer plus rapidement, à l'instar des petits corps célestes — astéroïdes, comètes… — emportés par ces courants. Certes le gain peut sembler modeste quand on se rappelle que la sonde Voyager 2 a parcouru près de 125 UA (19 milliards de kilomètres) depuis son lancement en 1977. « *Mais il ne faut pas oublier que pour réaliser cette prouesse, Voyager a dû consommer une grande quantité de carburant, et plus précisément de plutonium 238, une denrée chère qui se raréfie sur Terre* », ▶

NATASA TODOROVIC

« Leur utilisation permettrait d'économiser beaucoup d'argent et de ressources naturelles »

Nataša Todorović, astronome à l'université de Belgrade, Serbie


CNES

QUESTIONS À

FRANCIS ROCARD

RESPONSABLE DES PROGRAMMES D'EXPLORATION DU SYSTÈME SOLAIRE AU CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

La force d'attraction gravitationnelle aide déjà à la navigation spatiale

Comment calcule-t-on les trajectoires des sondes ?
Une sonde sitôt qu'elle quitte la gravité terrestre se retrouve soumise à celle du Soleil. Elle décrit donc une ellipse autour de notre étoile, comme tous les corps du Système solaire. Aucune possibilité d'aller en ligne droite ! La navigation spatiale consiste à jouer avec ces ellipses pour emmener le vaisseau vers sa cible. Pour cela, il existe deux stratégies aussi anciennes que la conquête spatiale, celle de Walter Hohmann [1880-1945] et de Giuseppe Colombo, dit Bepi Colombo [1920-1984].

À quoi ressemblent ces trajectoires types ?
Les « transferts de Hohmann » minimisent l'énergie pour aller d'un point à un autre. Par exemple, pour un voyage Terre-Mars, la trajectoire se décompose en trois « arcs » (des portions d'ellipses) parcourus successivement par la sonde. Le premier, dû à la gravité terrestre, correspond au lancement. Le second, sous l'influence de la masse du Soleil, constitue le transit proprement dit. Le troisième correspond à l'arrivée et découle de la gravité de Mars. Le navigateur doit ainsi « jouer » avec ces trois arcs, afin de limiter le carburant consommé par le moteur de la sonde. Pour aller plus loin dans le Système solaire, vers Jupiter, Saturne et au-delà, il faut utiliser l'assistance gravitationnelle d'une planète, comme l'a imaginé Bepi Colombo. La force d'attraction gravitationnelle permet d'accélérer la sonde, de la freiner ou de modifier sa direction.

Va-t-on vers des trajectoires optimisées, « plus rapides », à l'avenir ?
Les trajectoires sont toujours calculées pour optimiser l'énergie que l'on communique à la sonde dès son lancement. Cela se fait au détriment de la durée du voyage qui est secondaire. Si l'on veut aller plus vite, la seule solution consisterait à doter les sondes de moteurs capables d'accélérations plus fortes. ■

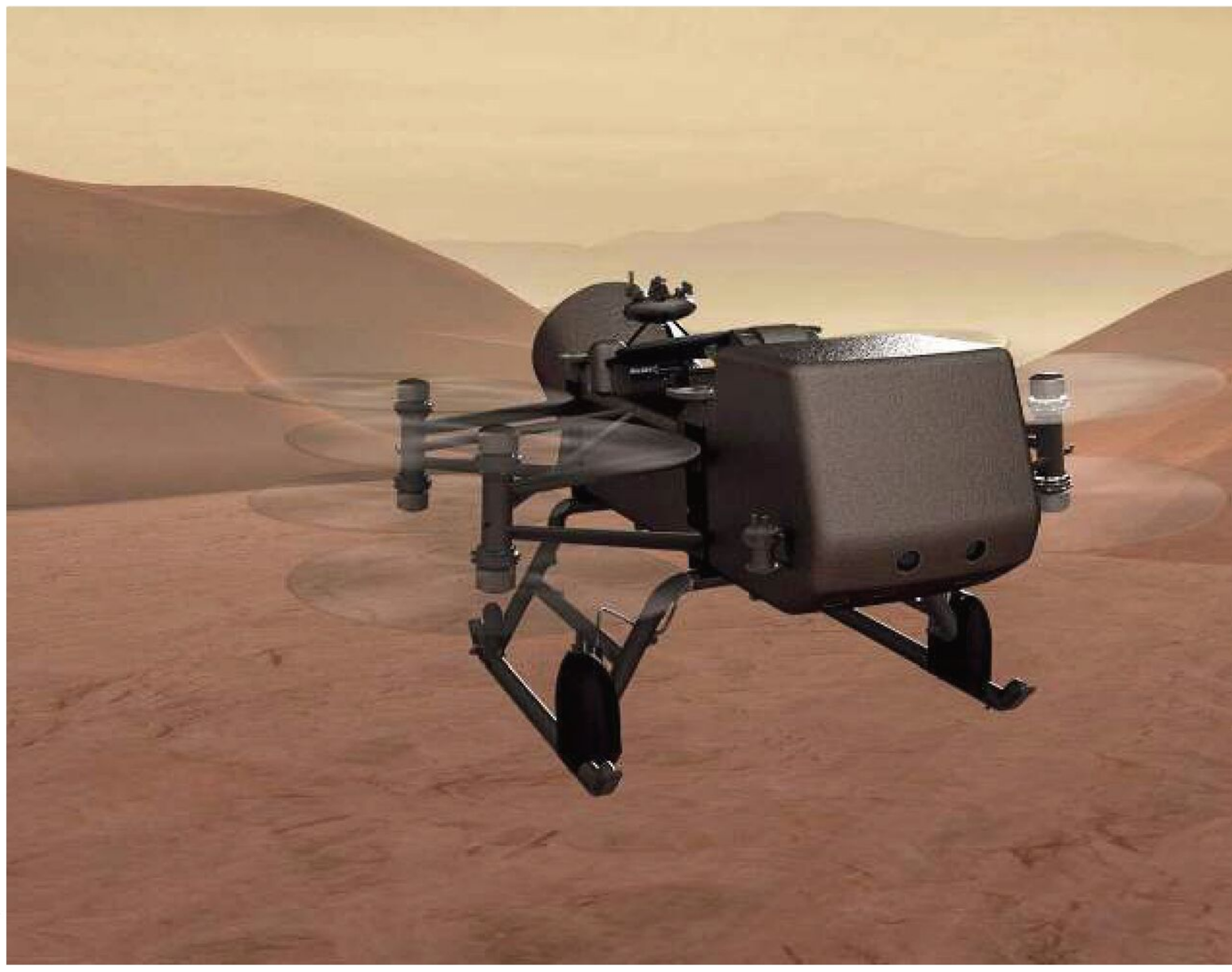
Propos recueillis par Fabrice Nicot

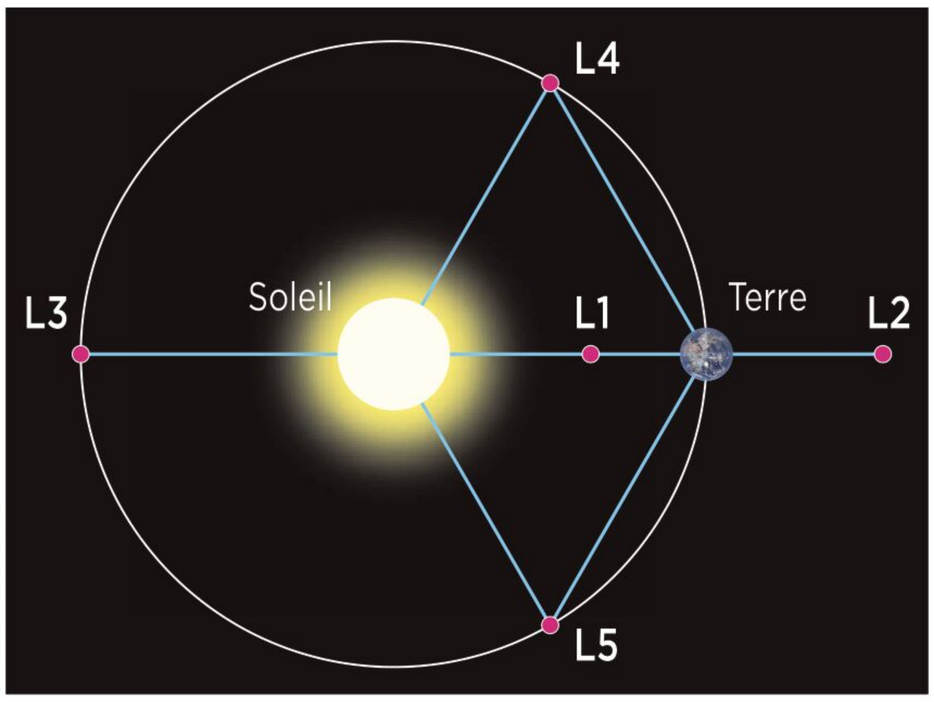
explique Nataša Todorović, astronome à l'université de Belgrade (Serbie) et première auteure de l'étude. La sonde américaine New Horizons, lancée il y a quinze ans et qui explore la ceinture de Kuiper après avoir survolé Pluton, est également chargée de plutonium 238. Or, d'ici le milieu du XXIe siècle et après avoir parcouru plus de 120 UA, elle ne sera plus opérationnelle, faute d'énergie.

Une opportunité pour les missions interplanétaires

Les scientifiques voient donc dans ces « autoroutes de l'espace » — un surnom que l'on doit à l'ingénieur américain spécialisé dans le calcul de trajectoires Martin Lo — une opportunité pour concevoir des missions interplanétaires ne consommant quasiment pas de carburant, ou des missions toujours plus lointaines. *« Ces courants sont capables de conduire des corps à la frontière extérieure du Système solaire avec une consommation de combustible nulle, tels des flux naturels. Leur utilisation permettrait d'économiser beaucoup d'argent et de ressources naturelles »*, confirme Nataša Todorović.

Pourtant, aussi prometteuses qu'elles puissent être, ces autoroutes invisibles ont un immense inconvénient : elles deviennent un véritable casse-tête lorsqu'il s'agit de les visualiser, et donc de les cartographier. Et pour cause, elles résultent de l'interaction gravitationnelle entre tous les corps célestes du Système solaire — des corps qui bougent sans cesse au gré des éphémérides —, formant un ensemble de canaux dynamiques bien trop complexe pour être calculé avec de simples équations mathématiques. *« Nous savons, par exemple, que ces courants prennent la forme d'un "beau" tunnel à proximité de leurs sources, c'est-à-dire aux points de Lagrange* [lire l'encadré p. 37], détaille Nataša Todorović. *Mais plus loin, ils "s'évasent", devenant totalement insaisissables »*. Car si la façon dont fonctionne la gravité dans le voisinage immédiat des planètes, régie par les lois de la chute libre, est connue depuis le XVIIe siècle, lorsque l'on s'avance dans l'espace, tout se complique.


NASA/JOHNS HOPKINS APL



BRUNO BOURGEOIS

POSITIONS

Les points de Lagrange, lieux stables propices à l'observation

Il existe entre la Terre et le Soleil 5 points de l'espace où les attractions gravitationnelles des deux astres s'équilibrent pour créer une situation particulière : tout objet placé en l'un de ses points va tourner autour du Soleil à la même vitesse que la Terre. Conséquence : les trois corps seront parfaitement immobiles les uns par rapport aux autres. Cette fixité permet de placer des instruments scientifiques qui bénéficient de conditions d'observations stables. Le télescope spatial James-Webb, qui doit être lancé en octobre, occupera ainsi le point L2 à 1,5 million de km de la Terre. Des points de Lagrange existent pour tous les couples de corps massifs. Le système Terre-Lune en possède 5, dont un a été utilisé par la mission chinoise Chang'e 4 sur la face cachée de la Lune : un relais de communication vers la Terre avait été positionné en L2. F. N.

Pour tenter d'obtenir un aperçu de ces courants de gravité ramifiant le Système solaire, la scientifique serbe s'est aidée d'un supercalculateur de l'observatoire de Belgrade mettant en œuvre une méthode de calcul spécifique : le Fast Lyapunov Indicator (FLI), qui vise à détecter les trajectoires stables et instables du Système solaire. Elle a ainsi pu repérer des instabilités dans des millions d'orbites de corps célestes situés entre la ceinture principale d'astéroïdes et les abords d'Uranus, et modéliser une belle structure ornementale faite d'une série d'arcs de gravité reliés entre eux. « *Chaque planète du Système solaire génère ses propres arcs, mais Jupiter produit les arcs les plus dominants* », commente la chercheuse. En effet, la planète est, à l'exception du Soleil, l'objet le plus massif du Système solaire. Selon les derniers calculs, en empruntant ces tunnels, un vaisseau spatial pourrait même parcourir la distance Jupiter-Neptune, soit 3,7 milliards de kilomètres, en moins d'une décennie sans consommer de carburant.

Pour Emmanuel Trélat, mathématicien et directeur du laboratoire Jacques-Louis-Lions (Sorbonne Université/CNRS), cette avancée est « *assez remarquable, car même si ces courants de gravité sont parfaitement connus en mathématiques, il est très compliqué de les mettre en évidence. Pour la première fois, quelqu'un est parvenu à calculer leurs changements inattendus de trajectoire, leurs bifurcations comme on les appelle.* » Car, en réalité, il apparaît que les autoroutes ressemblent en fait davantage à un « réseau autoroutier » imprévisible, avec plusieurs voies et des échangeurs, où la vitesse du trafic évolue constamment, en fonction des configurations relatives des planètes et de leurs satellites. Comme des billes de flipper, les comètes et les astéroïdes y sautent d'une voie à l'autre, sont échangés entre les planètes et finissent parfois par en percuter une.

Une tendance à s'évaser en trompette

Par ailleurs, les tunnels qui le composent sont loin d'être hermétiques pour l'objet qui s'y retrouve piégé. On les dit chaotiques, une façon de désigner leur tendance à s'évaser en trompette, au point, parfois, de s'ouvrir totalement sur l'Univers et de ne plus exister. « *C'est pourquoi j'ai toujours préféré les comparer à des courants marins plutôt qu'à des autoroutes. Si une coquille de noix est emportée par un courant marin, elle risque effectivement d'aller plus vite que si elle navigue paisiblement sur les vagues. Mais au moindre coup de vent, à la moindre perturbation… Elle peut se retrouver déviée dans n'importe quelle direction* », poursuit Emmanuel Trélat. C'est pourquoi avant de s'en servir, il faudra les dompter : pour cela, pas d'autre solution que de mettre un moteur — ou au moins une voile — à la coquille de noix ! « *Et d'appliquer la théorie du contrôle pour tenter de guider l'engin spatial tout en profitant de l'effet d'entraînement du courant de gravité, comme on le ferait avec un voilier pris dans un courant marin* », ajoute le chercheur.

En 2027, la sonde spatiale Dragonfly de la Nasa devrait s'envoler pour Titan, le plus gros satellite de Saturne qui a tous les atours d'une Terre primitive. Objectif qu'elle n'atteindra qu'en 2034 : pourrait-elle dès lors s'aider de ces couloirs gravitationnels pour écourter sa longue traversée ? « *C'est réaliste*, répond Emmanuel Trélat. *Il ne me semble pas impossible que l'on tente de gagner quelques années ou un peu d'énergie sur un voyage pareil.* » « *Il faudrait faire des calculs supplémentaires, en nous concentrant sur les couloirs générés par Saturne et ses différentes lunes, Titan en particulier. Ensuite, nous devrions rechercher les itinéraires les plus rapides pour effectuer ce voyage* », préconise Nataša Todorović. Il reste donc encore un peu de travail avant de pouvoir planifier un trajet sur la « carte Michelin » du système solaire. ■

La sonde spatiale américaine DragonFly, dont le lancement est prévu en 2027, devrait mettre sept ans pour atteindre Titan. Elle pourrait s'aider des couloirs gravitationnels pour réduire la durée de son voyage.

La Chine à la conquête de Mars

La sonde chinoise Tianwen-1, en orbite autour de la planète Rouge, devrait larguer entre mai et juin un atterrisseur et un rover. Une mission audacieuse sur le plan technologique et politiquement ambitieuse que seuls les États-Unis sont parvenus à accomplir jusqu'à présent.

LA CHINE A DONC RÉUSSI SON PARI. Du moins la première étape. Le 10 février, elle est parvenue à satelliser la sonde Tianwen-1 autour de Mars, quelques heures après l'orbiteur émirati Al-Amal et huit jours avant l'atterrissage du rover Perseverance de la Nasa — les trois missions ayant profité de la même fenêtre de tir qui s'était ouverte en juillet 2020 *(lire* S. et A. *nº 889)*. Le géant asiatique devient ainsi le sixième pays à rallier la planète Rouge après les États-Unis, la Russie (alors l'URSS), l'Europe, l'Inde et donc tout récemment les Émirats arabes unis (avec néanmoins l'aide décisive des Américains). Mais Pékin ne compte pas s'arrêter là. Elle vise des objectifs encore plus ambitieux pour sa première échappée au-delà de la Lune dans l'espace profond. Entre mai et juin prochains, Tianwen-1 devrait larguer un atterrisseur ainsi qu'un véhicule motorisé à la surface de Mars, prouesse technologique que seuls les États-Unis ont réussi à accomplir jusqu'à présent. *« Dans l'histoire de l'exploration martienne, aucune nation n'a jamais combiné un orbiteur, un atterrisseur et un astromobile dans une première mission. C'est incroyablement audacieux ! »* insiste Francis Rocard, responsable des programmes d'exploration du système solaire au Centre national d'études spatiales. *« Avec ce programme, Pékin souhaite d'office s'élever au niveau des plus grands »*, juge Isabelle Sourbès-Verger, géographe et directrice de recherche CNRS au Centre Alexandre-Koyré, à Paris.

Si la Chine a lancé son premier satellite artificiel en 1970, elle n'a rejoint le club des puissances spatiales que relativement récemment. L'envol du premier « taïkonaute » — en 2003 — en a constitué l'acte inaugural, Yang Liwei effectuant alors 14 révolutions autour de la Terre à bord d'un vaisseau Shenzhou. *« La Chine devenait la troisième nation à réaliser un vol habité dans l'espace, quoique quatre décennies après les Russes et les Américains »*, tempère Marc Julienne, chercheur à l'Institut français des relations internationales. Un programme d'exploration lunaire (Chang'e) est lancé quelques années plus tard, tandis qu'un prototype de station spatiale est placé en orbite en 2011. L'arrivée au pouvoir de Xi Jinping, en 2012, constitue une autre étape clé. Sous le mot d'ordre de « rêve chinois », il appelle à une grande renaissance nationale. Et entend replacer l'empire du Milieu au centre du jeu. Objectif : atteindre le rang de première puissance mondiale d'ici à 2049, pour le 100e anniversaire de la création de la République populaire.

SUCCESS STORY

Décembre 2019
Le lanceur lourd Longue Marche 5 est pleinement opérationnel

Janvier 2020
Le rover Yutu-2 atterrit sur la face cachée de la Lune

Décembre 2020
Chang'e 5 rapporte des échantillons lunaires

Février 2021
Tianwen-1 entre en orbite martienne

Davantage de lancements spatiaux que les États-Unis

« Le développement des sciences et des technologies est au cœur de cette stratégie de puissance et de modernité, relève Marc Julienne. *Et à côté des grandes priorités que sont l'intelligence artificielle, la physique quantique ou la fusion nucléaire, le spatial occupe une place de premier plan. »* L'exploration du Système solaire en particulier, *« marqueur symbolique dont une grande puissance ne peut se passer »*, signale Xavier Pasco, directeur de la Fondation pour la recherche stratégique.

La progression de la Chine a été de fait exceptionnelle ces dernières années. Pas moins de 39 lancements (essentiellement des satellites) sont effectués en 2018, davantage que les États-Unis (31) et la Russie (20) pour la première fois. Non contente de cocher une à une toutes les cases, Pékin commence aussi à échafauder des missions innovantes. Elle

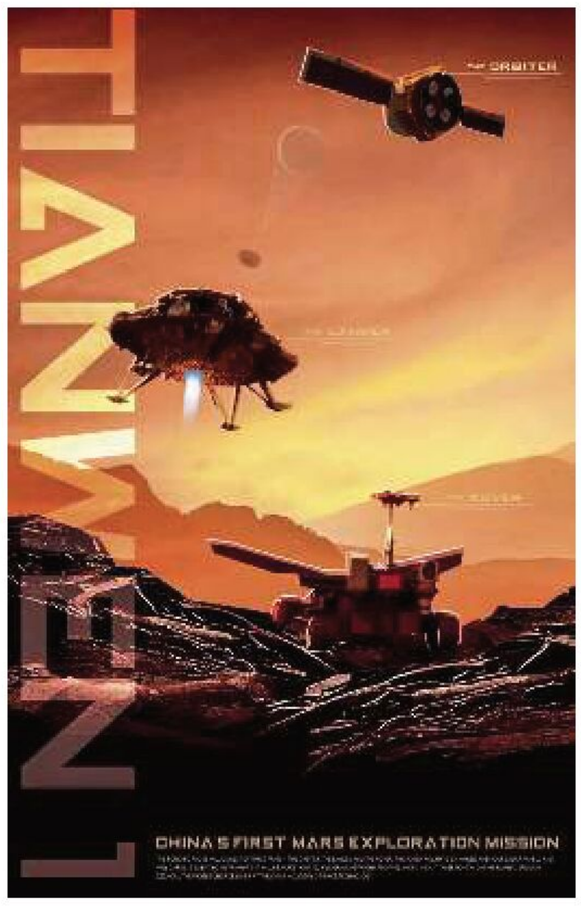
BRUNO LEVY

« Avec ce programme, Pékin souhaite d'emblée s'élever au niveau des plus grands »

Isabelle Sourbès-Berger, géographe, directrice de recherche au Centre Alexandre-Koyré, à Paris

THOMAS PETER/REUTERS

Des collégiens chinois visitent le C-Space Project Mars, un parc d'attractions spatiales construit par une société privée dans le désert de Gobi.



MORE_SPACE

Cette affiche met en scène les trois « héros » de la mission martienne chinoise : l'orbiteur (en haut), l'atterrisseur et le rover (au sol).

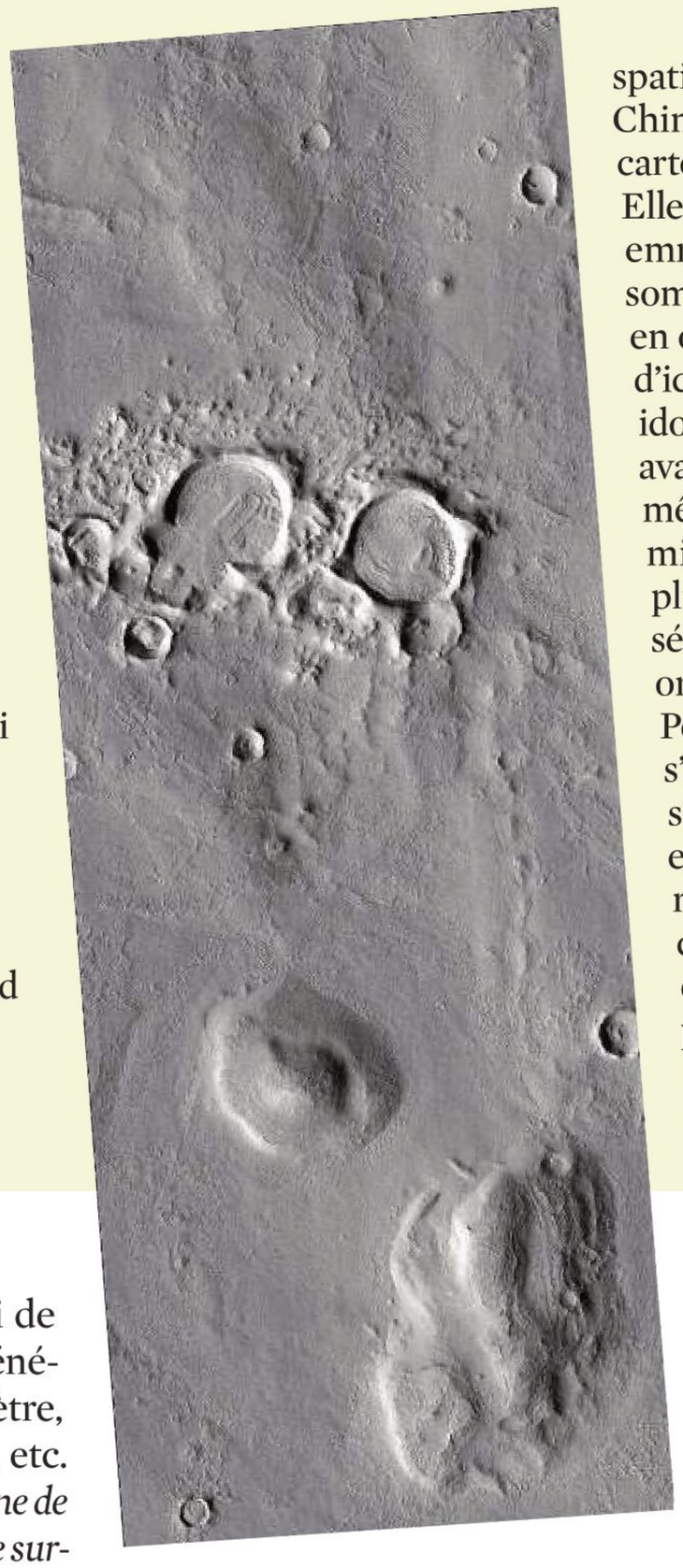
dépose ainsi, en 2019, un rover sur la face cachée de la Lune où aucun engin fixe ni mobile n'avait encore jamais atterri. Cette même année, le lanceur lourd Longue Marche 5 devient en outre pleinement opérationnel, ouvrant la voie à des projets encore plus ambitieux. C'est avec cette fusée que la sonde Chang'e5 est acheminée fin 2020 en direction de la Lune pour prélever puis rapporter sur Terre 1,7 kg d'échantillons — les premiers depuis les missions américaines Apollo et soviétiques Luna de 1969 à 1976. Avec très peu d'échecs et une série impressionnante de succès, la Chine bénéficie ainsi d'une confiance très forte. Après les orbites basses et la Lune, *« les étapes suivantes sont généralement nos voisines Mars et Vénus »*, note Isabelle Sourbès-Verger. Surtout la première, qui focalise l'attention des agences spatiales internationales depuis une vingtaine d'années. La Chine l'avait donc tout naturellement, elle aussi, dans le viseur. Le pays avait certes timidement coopéré, en 2011, à une mission russe visant à explorer Phobos, la plus grosse lune martienne, ainsi que l'environnement de la planète Rouge. Pékin avait fourni un microsatellite de 110 kg. Mais le vaisseau n'a jamais réussi à quitter l'orbite de la Terre, s'abîmant finalement dans le Pacifique. Un événement « traumatisant » allait en outre se produire deux années plus tard lorsque l'Inde a lancé et satellisé la sonde Mangalyaan autour de Mars. *« Elle devenait le premier pays asiatique à atteindre cet objectif, ce qui a été vécu comme une humiliation par la Chine »*, indique Marc Julienne.

Pour rallier la planète Rouge, l'empire du Milieu a donc souhaité non seulement le faire par ses propres moyens (et attendre de disposer d'un lanceur lourd de type Longue Marche 5) mais faire aussi une démonstration de force. *« La Chine ne pouvait se contenter d'une petite mission »*, analyse Isabelle Sourbès-Verger. Approuvé en 2016 par le gouvernement, le projet comprend un orbiteur de plus de trois tonnes, un atterrisseur ainsi qu'un astromobile ▶

REPÉRAGE

Comment Tianwen-1 prépare son atterrissage

Le vaisseau Tianwen-1 gravite depuis fin février sur une « orbite de parking », trajectoire très elliptique passant de 290 à 59 000 km de la surface de Mars. Il effectue des relevés topographiques détaillés… à la recherche d'un point d'atterrissage. Aucun site n'a été présélectionné, en effet, pour larguer la plate-forme de 1285 kg qui déposera elle-même un rover. Juste une plaine de l'hémisphère nord — Utopia Planitia — qui recèlerait de la glace d'eau souterraine et s'étend sur 3000 km de large. Car contrairement aux États-Unis ou à l'Agence spatiale européenne, la Chine ne dispose pas de cartes à haute résolution. Elle doit donc emmagasiner une somme d'informations en orbite afin de cibler d'ici mai à juin l'endroit idoine. Les Américains avaient d'ailleurs fait de même en 1975 avec les missions Viking, plusieurs mois séparant l'insertion en orbite de l'atterrissage. Pour Tianwen-1, il s'agira d'identifier un site relativement plat et dégagé de gros rochers. Pas trop chargé en poussières également, celles-ci pouvant nuire au bon fonctionnement du rover.



NASA/JPL/UARIZONA

La région d'Utopia Planitia s'étend sur 3000 km. C'est là que devrait se poser l'atterrisseur sur un site qui sera choisi en fonction des informations collectées en orbite par Tianwen-1.

de 240 kg. Le tout muni de 13 instruments : radar à pénétration de sol, magnétomètre, spectromètre infrarouge, etc. « *De quoi permettre à la Chine de rattraper son retard et même surpasser des puissances régionales comme l'Inde et le Japon* », souligne Marc Julienne. La symbolique sera également très forte si l'atterrissage se déroule comme prévu. C'est jusqu'à présent, en effet, une exclusivité américaine (la Nasa en a réussi neuf), les Russes et les Européens ayant systématiquement échoué.

Il serait néanmoins inexact de mettre les États-Unis et la Chine sur un pied d'égalité. Certes, plusieurs centaines de milliers de personnes travailleraient actuellement dans le secteur spatial chinois et les dépenses annuelles avoisineraient les 10 milliards de dollars — plus que l'Europe (8 milliards), la Russie (4,2 milliards) ou le Japon (2,6 milliards). Mais celles des États-Unis s'élèvent à 43 milliards de dollars, civiles et militaires confondues ! Le match est donc « plié », du moins pour le moment. « *Les Américains restent, de loin, la première puissance spatiale*, tranche Isabelle Sourbès-Verger. *Et ils ont accumulé sur Mars un savoir-faire exceptionnel depuis les premiers survols il y a plus de cinquante ans.* »

Une rivalité de leadership pour les décennies à venir

Mais tandis que Washington fait de la Chine sa principale menace et s'efforce par tous les moyens de ralentir sa progression — notamment dans le spatial, par de strictes réglementations commerciales —, celle-ci adopte une posture plus tranquille. « *Les Chinois, qui n'ont aucun intérêt à muscler le débat, ne disent jamais qu'ils vont battre les Américains dans l'espace*, explique Xavier Pasco. *Ils déroulent plutôt, à leur rythme, leur propre feuille de route et se posent davantage en alternative qu'en compétiteur en ouvrant des collaborations internationales avec le Brésil ou la France notamment.* »

Prévue en 2024, la mission lunaire Chang'e 6 embarquera ainsi un détecteur d'éléments radioactifs construit à Toulouse. Les ambitions de la Chine, qui s'inscrivent dans une rivalité de puissance et de leadership pour les décennies à venir, n'en demeurent pas moins considérables. Et la planète Rouge en sera, vraisemblablement, l'un des terrains d'expression. Le programme martien de la Chine ne fait en effet que commencer, et une course se prépare pour poser les premiers hommes sur Mars. Mais pas avant le milieu du XXIe siècle. ■

Franck Daninos @fdaninos

BRUNO LEVY

« Les Chinois suivent leur propre feuille de route. Ils se posent en alternative plutôt qu'en compétiteur »

Xavier Pasco, docteur en sciences politiques, directeur de la Fondation pour la recherche stratégique

Challenges

TSE Toulouse School of Economics

Jean Tirole
Prix Nobel
d'économie 2014,
Président
honoraire TSE

INÉGALITÉS I CLIMAT I SANTÉ I GAFA I FINANCE

Sauver le Bien commun

COMMON GOOD SUMMIT
27 - 28 mai 2021
TOULOUSE
ÉVÉNEMENT HYBRIDE

Des prix Nobel autour de Jean Tirole échangent
avec des leaders internationaux, hauts dirigeants,
chercheurs des grandes universités mondiales et de TSE,
sur la régulation du capitalisme et la sauvegarde,
après la pandémie, de la notion de bien commun

Inscription gratuite sur CommonGoodSummit.com

#CommonGoodSummit

Partenaires officiels

Pierre Fabre

transdev the mobility company

Partenaires médias

SCIENCES AVENIR

La Recherche

Partenaire associé

LA DÉPÊCHE DU MIDI

Organisé par

Les Echos Le Parisien ÉVÉNEMENTS

LATENCE En télécommunications, temps de transmission d'un paquet de données de sa source à l'appareil récepteur (ordinateur, téléphone, tablette…). Plus il est faible, plus l'interaction temps réel est possible.

CLOUD Services et outils informatiques stockés sur des serveurs, accessibles depuis un ordinateur ou un smartphone par Internet. En 5G, on parle d'Edge Cloud pour des petits datacenters proches des antennes.

VIRTUALISATION Transformation en logiciels de tous les aspects matériels d'un réseau. Cette architecture hébergée dans des datacenters offre beaucoup de flexibilité.

5G : l'Internet sur mesure séduit les professionnels

Bien au-delà du symbole « 5G » qui s'affichera bientôt sur les téléphones portables des particuliers, cette nouvelle norme de communication représente avant tout une rupture technologique pour l'industrie. Tour d'horizon des premiers projets en cours de déploiement.

QUI ENTEND 5G pense d'abord vitesse. Les premières offres commerciales qui se déploient depuis fin 2020 promettent des débits (théoriques) de plusieurs gigabits par seconde (Gbits/s), contre 150 à 300 mégabits par seconde (Mbit/s) pour la 4G à laquelle elle succède. En conditions réelles, ce sera moins : l'Autorité de régulation des télécommunications (Arcep) exige des opérateurs une garantie d'au moins 100 Mbit/s (contre 60 en 4G). Ce gain en débit s'accompagne d'un autre, tout aussi important : la latence passe de quelques dizaines de millisecondes (ms) à 1 ou 2 ms. Mais contrairement à ce que l'on pourrait croire, ce n'est pas dans les usages grand public que la 5G promet une véritable rupture, alors que ce sont eux qui cristallisent les inquiétudes sur les risques au sujet desquels l'Agence nationale de la sécurité sanitaire (Anses) s'apprête à publier un rapport.

25 700 antennes 5G
en France en février 2021 selon l'ANFR.

256
antennes miniatures
(Massive MIMO) sur une station de base, contre 20 maximum en 4G.

300 mètres
la portée d'une antenne en ondes millimétriques (Small Cell).

« *La révolution de la 5G viendra des centres de données (datacenters)*, explique Guy Pujolle, enseignant-chercheur en informatique à Sorbonne Université, à Paris. *Tout ce qui existait avant sous forme de matériel sera virtualisé. Le boîtier qui servait au traitement du signal, par exemple, deviendra un logiciel sur un serveur.* » Même chose pour les commutateurs qui relient plusieurs parties d'un réseau, les routeurs qui assurent la circulation des données et même, à terme, les modems. Avec une flexibilité inédite à la clé : « *On peut avoir une machine virtuelle qui démarre pour activer une antenne sur une zone donnée*, raconte Xavier Lagrange, enseignant chercheur à l'IMT Atlantique, à Rennes. *Si le nombre d'utilisateurs augmente, une autre machine est allumée à distance. Et la nuit, contrairement à la 4G, les antennes peuvent être éteintes.* » Remplacer un appareil revient à changer de logiciel, ce qui est beaucoup plus facile et rapide.

De cette architecture découle la fonction très prometteuse du data slicing. L'idée : découper un même réseau en plusieurs tranches (*slice*), appelées « réseaux virtuels », de débits différents, chacune adaptée à un utilisateur, une entreprise, un service, parfois temporairement. « *Chaque tranche privilégiera soit la latence, soit le débit, soit le nombre de terminaux connectés* », continue Xavier Lagrange. Le tout à partir d'une même antenne. « *Cela commencera en 2023-24, avec 3 tranches par antenne*, détaille Guy Pujolle. *Dans sept ou huit ans, il y aura une tranche par entreprise.* » L'Internet sur mesure, littéralement.

Mais il faut être patient. En France, les premières fréquences 5G attribuées aux opérateurs en 2020 sont celles situées entre 3,4 et 3,8 GHz. Or c'est avec la bande des 26 GHz (dites ondes millimétriques), qui ne sera attribuée qu'à partir de 2023, que fleuriront les innovations. Les forfaits proposés au grand public servent à financer ces déploiements. « *L'objectif est d'avoir des réseaux à peu près complets en 2024 pour déployer des services opérationnels orientés vers les entreprises* », résume Guy Pujolle. Mais les premières expérimentations ont d'ores et déjà démarré. En voici quelques-unes.

GUY PUJOLLE

« Tout ce qui existait avant sous forme de matériel sera virtualisé dans des centres de données »

Guy Pujolle, enseignant-chercheur en informatique à Sorbonne Université, à Paris

PHOTOS : MATHIEU PATTIER/SIPA - VEDECOM - COVESTRO - PORT OF ANTWERP - BCOM

VÉHICULES
Les voitures autonomes et connectées bénéficieront de transmission de données en temps réel pour exécuter des manœuvres complexes et mieux se coordonner.

MAINTENANCE
L'état des installations sera testé à distance par réalité augmentée (expérience en cours chez Covestro, fabricant de polymères).

ANTENNE 5G
Sur une même antenne, le réseau est découpé en plusieurs tranches de débits différents, chacune étant adaptée à un utilisateur en particulier.

CHIRURGIE
En salle d'opération, les chirurgiens seront assistés par le calcul et la diffusion d'imagerie médicale augmentée.

TRAFIC PORTUAIRE
Les remorqueurs se transmettent mutuellement les flux vidéo de leurs caméras connectées pour mieux guider les cargos (ici au port d'Anvers).

La maintenance industrielle simplifiée

On parle désormais d'industrie 4.0... Ce vocable abscons (« 4 » pour quatrième génération après les révolutions de la vapeur, de l'électricité, de l'automatisation) désigne un environnement de production où se combinent capteurs sur des machines connectées, algorithmes dans le *cloud* pour les piloter, transfert de données et analyse de celles-ci en temps réel (par exemple pour de la maintenance). Pionnier en la matière, le fabricant de composants chimiques Covestro teste par exemple la suppression de toute documentation papier lors d'inspection d'installations par ses opérateurs. Ceux-ci sont dotés d'une tablette voire de lunettes connectées pour scanner un QR code qui appelle les données nécessaires afin de vérifier l'état, par exemple, d'une pompe à acide nitrique. Une vibration anormale, un bruit suspect ? L'employé transmet l'information, avec la vidéo en direct de l'équipement douteux, au service de maintenance. Celui-ci pourra apprécier, à distance, s'il faut envoyer un réparateur.

Sécurité renforcée dans l'activité portuaire

Avec Orange Belgique, le port d'Anvers a équipé l'avant et l'arrière d'une paire de remorqueurs de caméras à haute définition. L'un des bateaux est placé devant un cargo entrant dans le port, l'autre est derrière et ils se transmettent mutuellement leurs flux vidéo en temps réel. « *Un remorqueur peut observer la façon dont l'autre navigue*, explique Wouter Faes, responsable infrastructures numériques au port d'Anvers. *Cela améliore la collaboration et réduit les risques d'accident.* » Et ce n'est pas la seule innovation

CRIMINALITÉ

Un enjeu de cybersécurité

Pour de nombreux experts, dont l'Agence nationale de sécurité des systèmes d'information, la sécurisation des réseaux est l'enjeu principal de la 5G. Car en faisant des datacenters le cœur du système, en virtualisant les fonctions télécoms et en connectant de plus en plus d'objets, on augmente ce que l'on appelle la surface d'attaque pour les cybercriminels. « *Il ne faudra pas déployer un réseau pour se demander ensuite comment on le sécurise, mais déployer éléments de télécommunication et cybersécurité en même temps* », prévient Mathieu Lagrange, de l'IRT B-Com, à Rennes (Ille-et-Vilaine). L'institut travaille sur la surveillance permanente des réseaux par apprentissage automatique. Les données servent à établir ce qu'est un comportement normal et donc à détecter des événements anormaux. L'omniprésence des datacenters pose aussi la question de la souveraineté et du contrôle des données. « *La raison essentielle du rejet par la France de l'équipementier chinois Huawei ne concerne pas ses antennes mais le fait que Huawei installait des datacenters* », note Guy Pujolle, enseignant-chercheur en informatique à Sorbonne Université, à Paris. Il reste que pour aller plus vite, les opérateurs s'en remettent à d'autres géants. Comme Amazon Web Services, avec son service Wavelength consacré à la 5G, ou Google Cloud qui a noué des partenariats avec Nokia, ATT ou Orange. Sans que la souveraineté numérique n'y gagne.

E. PINES/THE NEW YORK TIMES-REDUX-REA

L'importance des datacenters, centres névralgiques des réseaux de 5G, pose la question de leur sécurisation et du contrôle des données.

Des images ultraprécises au bloc opératoire

L'institut de recherche technologique (IRT) B-com, en Bretagne, a lancé une activité d'éditeur de logiciel en *edge cloud* sur les technologies 5G. Parmi les marchés visés, le secteur hospitalier, l'IRT travaillant notamment avec le CHU de Rennes. « *L'un de nos projets consiste à transporter et combiner différents types d'images médicales tels que des clichés très haute résolution provenant d'endoscopes — de minuscules caméras introduites dans le corps des patients — ou d'imagerie ultrason,* détaille Mathieu Lagrange, directeur réseau et sécurité à l'IRT. *Une application de réalité augmentée, déployée sur un edge cloud calcule une image plus riche que l'on rediffuse ensuite sur des moniteurs dans la salle d'opération.* » Les chirurgiens disposent ainsi d'une vision en direct de la zone où intervenir qui combine plusieurs sources. Le débit est ici crucial car, à la demande des praticiens, les images ne sont pas compressées afin d'éviter toute altération. Mais la transmission en temps réel est tout aussi impérative, sous peine de mettre en danger la vie du patient.

Des connexions fluides pour les voitures autonomes

Basé à Versailles (Yvelines) et spécialisé dans la mobilité, l'institut Vedecom participe à plusieurs projets autour de la 5G. L'un d'eux porte sur la problématique du passage des frontières qui implique de transiter d'un réseau de communication national à un autre. Cette opération nécessite des procédures techniques de contrôle dans les cœurs de réseau qui ralentissent la connexion. « *La 5G devrait gérer tout cela beaucoup plus rapidement en assurant la continuité de la connexion* », estime Oyuchimeg Shagar, spécialiste en communication sans fil chez Vedecom. L'institut est aussi en train de se doter d'un réseau 5G pour tester des scénarios sur circuit, avant de mener des expériences sur route. « *La 5G se prête à des cas d'usages complexes,* continue la chercheuse. *Le défi principal, c'est la gestion par un véhicule autonome de la présence de véhicules connectés et de véhicules classiques.* » ■

Arnaud Devillard @ A_Devila

POUR EN SAVOIR PLUS

- **L'Anses et la 5G :** sciav.fr/890Anses5G
- **Le dossier de la 5G de l'Agence nationale des fréquences :** sciav.fr/890Anfr
- **Suivi du déploiement de la 5G avec l'Arcep :** sciav.fr/890Arcep

RÉSEAUX VIRTUELS DE DEMAIN

La 6G est déjà en vue !

La 5G n'a rien d'un aboutissement. Le 1er janvier 2021, le consortium de recherche Hexa-X, monté par la Commission européenne et mené par Nokia, a commencé ses travaux sur la 6G. « *Les débits de la 5G seront multipliés par un facteur 10, 100 voire 1000,* explique Guy Pujolle, enseignant-chercheur en informatique à Sorbonne Université, à Paris. *Avec un choix à faire entre de gros datacenters intelligents ou des datacenters miniaturisés à l'échelle d'un smartphone.* » Des réseaux virtuels demain ; des réseaux de poche après-demain.

QUAND

VOUS REFERMEZ

UN

UNE NOUVELLE VIE

S'OUVRE À LUI.

EN TRIANT VOS JOURNAUX,
MAGAZINES, CARNETS, ENVELOPPES,
PROSPECTUS ET TOUS VOS AUTRES
PAPIERS, VOUS AGISSEZ POUR UN MONDE
PLUS DURABLE. DONNONS ENSEMBLE
UNE NOUVELLE VIE À NOS PRODUITS.

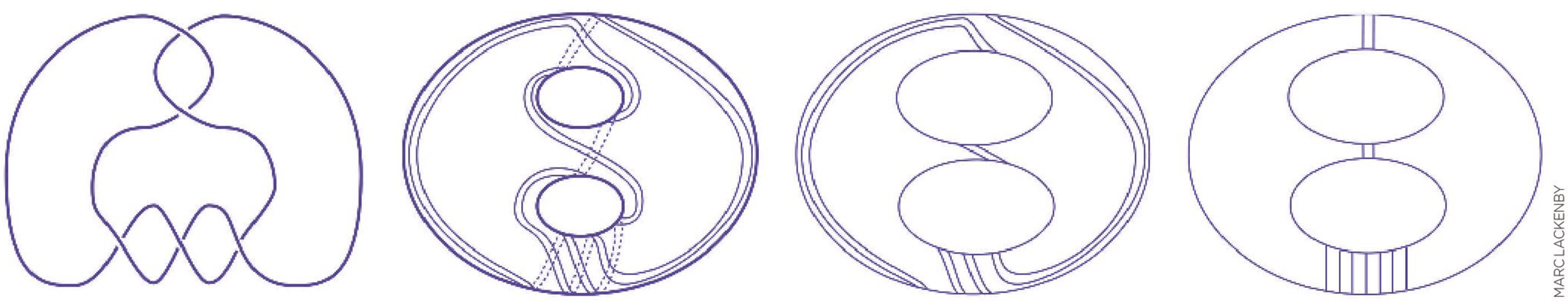
CONSIGNESDETRI.FR

CITEO

Le nouveau nom d'Eco-Emballages et Ecofolio

Un algorithme aide à dénouer les nœuds

Un mathématicien britannique a conçu un programme très rapide capable de déterminer si deux nœuds fermés sont équivalents.



MARC LACKENBY

Un nœud complexe (à gauche) peut être ramené rapidement avec un algorithme à l'équivalent le plus simple (à droite).

Prenez un lacet de chaussure. Même très emmêlé, il sera toujours possible d'effectuer un nombre fini de mouvements pour le défaire en tirant sur les brins libres. Reliez les deux extrémités du lacet et vous obtenez un nœud fermé. Le problème du « dénouage » devient alors bien plus difficile : « *Sur le plan mathématique, vous avez une courbe définie dans l'espace tridimensionnel que l'on cherche à dénouer* », explicite Arnaud de Mesmay, chercheur CNRS au Laboratoire d'informatique Gaspard-Monge (université Gustave-Eiffel, Marne-la-Vallée). Peut-on imaginer un programme informatique qui permet de défaire tous les nœuds, autrement dit de savoir si deux nœuds d'aspects très différents sont en réalité identiques ? C'est un tel programme rapide que vient de trouver le mathématicien britannique Marc Lackenby, de l'université d'Oxford, résolvant ainsi un vieux problème.

La question de l'existence d'un tel algorithme a été posée dès 1910 et, pendant plus de cinquante ans, personne ne savait y répondre. Ce n'est qu'en 1961 que le mathématicien allemand Wolfgang Haken en découvrit un. Mais ce premier algorithme et tous ceux qui ont été proposés par la suite ne permettaient de dénouer les nœuds qu'en un temps « exponentiel ». Qu'est-ce que cela signifie ? Prenons un nœud représenté dans un ordinateur par une suite de n segments dans l'espace tridimensionnel — une des façons de décrire un nœud en informatique. Au mieux, les programmes dénouaient les nœuds en un temps proportionnel à environ 2^n. Avec un petit nombre de segments, c'est faisable, mais dès que le nœud est constitué d'une trentaine de segments ou plus, il est vraisemblable que le calcul sera trop long pour en voir le résultat de son vivant. Et au-delà de 100, sa durée serait supérieure à l'âge de l'Univers…

Pour concevoir un algorithme qui permette d'aboutir à un résultat dans un temps plus raisonnable, Marc Lackenby a misé sur une démarche novatrice : son idée est de construire une suite de surfaces à partir du nœud initial qui permet de dire s'il est équivalent au nœud le plus simple. Et donc de savoir si deux nœuds sont identiques. « *Il avait déjà proposé cette approche en 2017, mais la difficulté était de savoir si la construction de cette suite de surfaces se terminait assez rapidement. Depuis, il est parvenu à le faire en utilisant des outils récents de la théorie des nœuds* », commente Arnaud de Mesmay.

La possibilité d'un algorithme encore plus efficace

De fait, sa démonstration aboutit à un algorithme bien plus rapide, dit quasi polynomial. Mais ce n'est qu'une étape. « *Ce qui est le plus excitant, c'est que cela ouvre la possibilité d'un algorithme polynomial, encore plus efficace* », s'enthousiasme Arnaud de Mesmay. En clair, un algorithme dont le temps de calcul serait proportionnel à n^c, où c est une constante. Dans ce cas, le calcul deviendrait possible même avec de très grands nœuds. Reste à trouver cet algorithme polynomial… ■

Philippe Pajot @philpaj

L'einsteinium livre ses premiers secrets

Des chercheurs sont parvenus à étudier les propriétés chimiques de ce métal hautement radioactif et donc difficile à manipuler.

L'EINSTEINIUM A PARLÉ. Un peu, mais c'est déjà beaucoup. Une équipe de chercheurs du Laboratoire national Lawrence-Berkeley (États-Unis) vient en effet de réaliser la toute première étude des propriétés chimiques de cet atome lourd, dont le noyau contient 99 protons (contre 26 pour le fer par exemple). Depuis sa découverte en 1952, ce métal très radioactif de la famille des actinides, baptisé en hommage à Albert Einstein, avait résisté à toute analyse : trop difficile à synthétiser et surtout trop dangereux à manipuler. Pour parvenir à l'approcher sans risque, les chercheurs ont choisi l'einsteinium-254, un isotope (même nombre de protons mais un nombre de neutrons différents) plus rare mais plus « accommodant » que l'einsteinium-253, la forme la plus courante. Sa demi-vie (c'est-à-dire le temps pour que la moitié se désintègre) atteint 275 jours (contre 20 pour le 253), et il est moins radioactif. Les chercheurs l'ont synthétisé en bombardant une cible de curium (96 protons) avec des neutrons. Ils sont ainsi parvenus à en fabriquer environ 200 nanogrammes — l'équivalent d'un grain de sable —, et à l'étudier en le mettant dans une cage dont les « barreaux » sont en hydroxypyridinone ($C_5H_5NO_2$), un composé avec lequel les atomes d'einsteinium peuvent établir des liaisons. Ce cadre a permis d'étudier les propriétés chimiques de cet élément, notamment sa faculté à se lier avec des atomes voisins, et de les comparer avec d'autres actinides (uranium, plutonium, etc.).

MARILYN SARGENT/BERKELEY LAB

Pour analyser ce métal très radioactif, les chercheurs ont choisi un isotope moins dangereux.

Une base pour synthétiser des noyaux encore plus gros

En plus de nous renseigner sur cette famille d'atomes aux confins de la classification périodique, l'einsteinium pourrait servir de base à la synthèse de noyaux plus gros encore, semblables aux éléments découverts ces dix dernières années, comme le tennessee (117 protons) ou l'organessone (118 protons). Il s'agirait de se rapprocher du théorique « îlot de stabilité », constitué d'une série d'isotopes de ces atomes super lourds capables de « vivre » de quelques minutes à quelques jours. Si leur existence était confirmée, ce serait autant de nouveaux atomes extrêmes à étudier... Et une belle descendance pour l'einsteinium. ■

Fabrice Nicot @fnicot07

AURÉLIEN ALVAREZ

PAR AURÉLIEN ALVAREZ *

De la géométrie aux géométries

L'application Ngram Viewer permet d'observer l'évolution de la fréquence d'apparition au fil du temps d'un mot dans la base de données textuelles de Google Livres, contenant plus de 25 millions de volumes. Quand on y entre le mot « géométrie », au singulier, on constate que cette fréquence est relativement constante entre 1800 et le début des années 2000. Plus révélateur est le résultat pour « géométries », au pluriel, sur la même période : le mot est quasi inexistant jusqu'en 1885, puis sa fréquence explose avant de se stabiliser à partir de 1920.

La découverte de géométries non euclidiennes par l'Allemand Carl Friedrich Gauss, le Russe Nikolaï Lobatchevski et le Hongrois Janos Bolyai, dans la première moitié du XIX^e siècle, suivie par les travaux fondateurs du mathématicien allemand Bernhard Riemann, quelques années plus tard, a été l'un des catalyseurs d'une conceptualisation plus abstraite de ce qu'est une géométrie comme l'a par la suite formulé l'Allemand Felix Klein en 1872 dans son programme d'Erlangen.

> « Le mot géométries orthographié au pluriel est quasi inexistant dans les livres jusqu'en 1885, puis sa fréquence explose »

« *La géométrie à* n *dimensions a un objet réel ; personne n'en doute aujourd'hui. Les êtres de l'hyperespace** sont susceptibles de définitions précises comme ceux de l'espace ordinaire, et si nous ne pouvons nous les représenter, nous pouvons les concevoir et les étudier. [...] La géométrie, en effet, n'a pas pour unique raison d'être la description immédiate des corps qui tombent sous nos sens ; elle est avant tout l'étude analytique d'un groupe ; rien n'empêche, par conséquent, d'aborder d'autres groupes analogues et plus généraux.* » C'est ainsi que débute le célèbre mémoire sur l'*Analysis situs* reconnu aujourd'hui comme l'un des textes fondateurs de la topologie algébrique et publié par le Français Henri Poincaré en 1895, scellant le sort de la géométrie d'Euclide qui devint alors une géométrie parmi tant d'autres. ■

* Professeur à l'ENS de Lyon
** Espace de dimension *n*

Les baleines, un précieux capital pour le climat

En piégeant 33 tonnes de CO_2 tout au long de leur vie, ces cétacés jouent un rôle majeur face au changement climatique. Une importance reconnue par le FMI qui envisage de créer des mécanismes financiers pour promouvoir la restauration de leurs populations.

Par Anne-Sophie Tassart @TassartAS

« LES BALEINES COMME ACTRICES de la capture du carbone atmosphérique » : c'est le thème d'une discussion qui se tiendra à l'occasion de la réunion annuelle du comité scientifique de la Commission baleinière internationale (CBI), du 27 avril au 14 mai. Cette instance chargée de la conservation des baleines et de la gestion de la chasse veut depuis plusieurs années mettre en avant le rôle de ces cétacés face au changement climatique. Car quand on parle de réservoirs de carbone, on pense d'abord océans et forêts, oubliant souvent le rôle des animaux, en particulier, marins. Ainsi, parmi les êtres vivants, ce sont les baleines qui constituent les plus grands réservoirs de carbone. Une donnée qui s'explique d'abord par leur gigantisme. La baleine pygmée, le plus petit des mysticètes, les cétacés à fanons, mesure six mètres en moyenne pour un poids supérieur à trois tonnes. À l'autre extrémité de l'échelle : la baleine bleue peut atteindre

DAVID FLEETHAM/ NATUREPL/ EBPHOTO

Les baleines à bosse, qui peuvent atteindre 30 tonnes, sont de grands réservoirs vivants de carbone *(photo)*. Autre atout pour le stockage : leur longévité. L'espèce boréale peut vivre jusqu'à 200 ans !

30 mètres. Mais ces animaux ne sont pas seulement immenses, ils ont aussi une longévité exceptionnelle. Ainsi, la baleine boréale peut vivre 200 ans ! Or, plus ils sont grands et vivent longtemps, plus les êtres vivants stockent de dioxyde de carbone (CO_2) protégeant ainsi la planète du réchauffement climatique.

Concrètement, chaque baleine séquestre en moyenne 33 tonnes de CO_2, soit l'équivalent de l'empreinte carbone de trois Français pendant un an. Bien loin devant ce que peut capturer un arbre, qui stocke au maximum 20 kg de CO_2 par an. Ces chiffres étonnants ont été rendus publics en 2019 par un rapport du Fonds monétaire international. Signe qu'au-delà de l'aspect écologique, la préservation des baleines revêt une véritable dimension économique.

Le stockage du CO_2 par les baleines dure d'ailleurs bien plus longtemps que leur vie : plusieurs siècles. En effet, leurs carcasses rejoignent ce que les scientifiques nomment la biomasse morte (ou nécromasse). Leur corps, constitué en grande partie de protéines et de lipides, sombre dans l'océan, assurant un enrichissement organique majeur d'un milieu souvent pauvre en nutriments. À terme, le carbone qui les constitue pourra être enfoui dans les sédiments marins, où il restera piégé pendant des millions d'années. Une équipe américaine de chercheurs estimait ainsi en 2010 dans la revue *PlosOne* qu'avant leur chasse systématique, les baleines, en rejoignant à leur mort les fonds marins, permettaient d'éloigner de l'atmosphère plus de 190 000 tonnes de carbone par an.

Mais ce n'est pas le seul mécanisme par lequel les baleines capturent une partie du carbone de l'atmosphère. Tout au long de leur vie, elles plongent à des dizaines voire des centaines de mètres de profondeur pour se nourrir de ▸

RESSOURCES PARTAGÉES

Elles symbolisent la « tragédie des biens communs »

Les bienfaits des baleines profitent à tous les pays. Pourtant force est de constater que la motivation manque pour leur apporter une protection internationale : un problème nommé « tragédie des biens communs ». Il en est de même par exemple avec l'atmosphère terrestre. *« C'est le problème de la coordination quand une ressource est partagée »*, explique Ralph Chami, directeur adjoint à l'Institut pour le développement des capacités au Fonds monétaire international. *En conséquence, les ressources communes sont surexploitées puis sont finalement détruites. »*

PÊCHE INTENSIVE

Les poissons, des pompes à carbone également menacées

Comme les baleines, les poissons séquestrent une part de carbone qu'ils emportent dans les fonds marins à leur mort. Or si la chasse baleinière s'est raréfiée, ce n'est pas le cas de la pêche : selon le Fonds mondial pour la nature (WWF), aujourd'hui, chaque humain mange en moyenne 19,2 kg de poisson par an, environ deux fois plus qu'il y a cinquante ans. Les poissons sont débarqués, transformés et consommés, ajoutant ainsi aux émissions de CO_2 dans l'atmosphère. « *Le carbone des poissons est réémis sous forme de CO_2 dans l'atmosphère une fois ceux-ci consommés par l'humain* », explique Gaël Mariani doctorant à l'université de Montpellier et auteur principal d'une étude publiée en 2020 dans *Science Advances*. Selon ses résultats, 94 % du carbone extirpé de l'océan par la pêche est réémis dans l'atmosphère par respiration et excrétion des humains ayant consommé le poisson ou encore par le traitement des déchets. Les derniers 6 % restent piégés dans les arêtes qui « *ne sont pas dégradées quand elles sont enfouies car aucun organisme n'y arrive* », explique Gaël Mariani. Par ailleurs, entre 1950 et 2014, les flottes ciblant les gros poissons ont émis environ 200 millions de tonnes de carbone dans l'atmosphère : 37,5 millions de tonnes provenant des poissons transportés sur terre — la fuite du carbone bleu évoquée plus haut — auxquels s'ajoutent 165,3 millions provenant du carburant des navires. Pour le chercheur français, la solution est une pêche plus durable afin de rétablir les stocks de poissons et permettre ainsi d'augmenter à terme la biomasse alimentaire et la capture du carbone.

BRANDON COLE/BIOSPHOTO

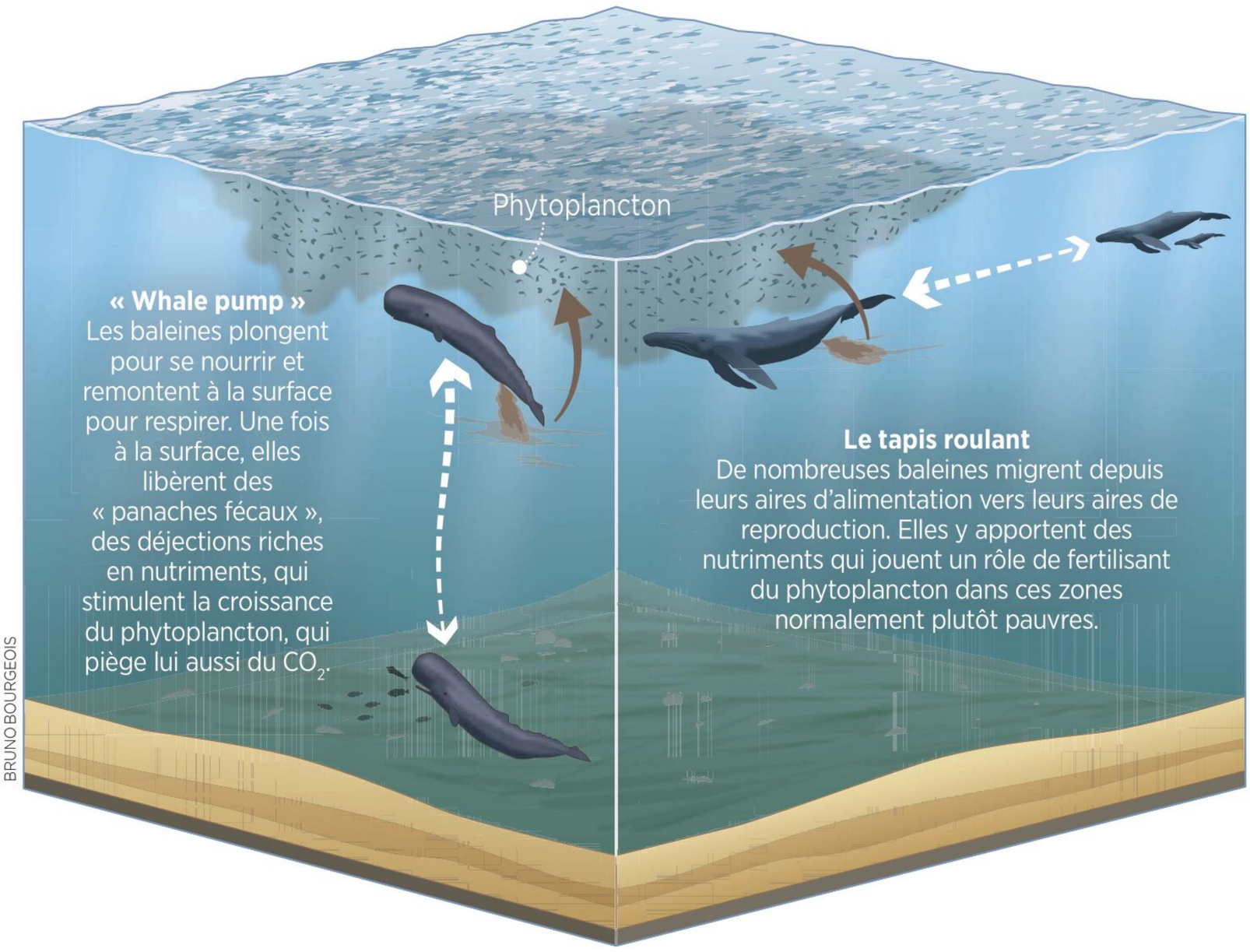
La surpêche contribue à la hausse du CO_2 dans l'atmosphère et prive les océans de leurs capteurs de carbone (ici thons rouges du Sud).

▸ petits végétaux (phytoplancton) et animaux (zooplancton) flottant passivement — ou de petits poissons. Puis elles remontent à la surface pour respirer. Elles libèrent alors des panaches fécaux et urinent dans leurs aires d'alimentation, diffusant ainsi des nutriments, comme la montré en 2014 l'équipe de Joe Roman, professeur à l'université du Vermont (États-Unis) *(voir l'infographie ci-contre)*. À ce déplacement vertical, appelé « whale pump », s'ajoute un second, horizontal cette fois. Le « tapis roulant des grandes baleines » traduit la migration de nombreux spécimens depuis leurs aires d'alimentation riches en ressources, par exemple l'Alaska, jusqu'à leurs aires de reproduction, plus pauvres, notamment au large de Hawaii ou du Mexique. Bien nourris, les cétacés apportent des nutriments. Ainsi, les baleines bleues de l'océan Austral transportent 88 tonnes d'azote chaque année dans leur aire de reproduction. Ces deux types de déplacement stimulent la croissance du phytoplancton « *qui capture 37 milliards de tonnes de CO_2 par an, soit un flux — et non un stock — comparable à quatre forêts amazoniennes* », affirme Ralph Chami, directeur adjoint de l'Institut pour le développement des capacités, auteur principal du rapport du FMI de 2019. En outre, le phytoplancton est aussi une porte d'entrée pour le carbone atmosphérique. « *Il absorbe le CO_2 de l'atmosphère lors de la photosynthèse et le transforme en une forme organique qui entre ensuite dans le réseau trophique* », remarque Heidi Pearson, chercheuse au département des sciences naturelles à l'université de l'Alaska (États-Unis).

1000 ans chasse ont réduit leur biomasse de 85 %

C'est dans l'ignorance de l'importance écologique des baleines que les humains les ont chassées depuis des siècles. Que ce soit pour leur viande, leur huile ou leurs fanons : des dizaines de millions de ces cétacés auraient été tués au cours de la période de chasse commerciale qui a débuté vers l'an mil, lorsque les Basques ont commencé à traquer les baleines franches de l'Atlantique Nord. Au cours du millénaire suivant, la biomasse des baleines a été réduite de 85 % ! Exemple frappant, les effectifs de baleines bleues dans l'hémisphère Sud ont été réduits à 1 % de leur niveau initial. Résultat : les populations de grandes baleines à fanons stockent désormais 9 millions de tonnes de carbone de moins qu'avant l'avènement de la chasse baleinière, d'après l'étude publiée en 2010 dans la revue *PlosOne*, conduite par Andrew Pershing, chercheur à l'Institut de recherche du golfe du Maine (États-Unis).
Or aujourd'hui, les baleines font face à de nouvelles menaces. Car si ces cétacés s'apparentent en par-

Comment les baleines fertilisent le phytoplancton



BRUNO BOURGEOIS

tie à des puits de carbone, l'augmentation des niveaux de CO_2 dans l'atmosphère peut également leur nuire. « *Le principal danger est probablement des changements dans la disponibilité des proies comme les crustacés, en raison de variations de températures à la surface de l'eau et de l'acidification des océans*, remarque Heidi Pearson. *Un tel changement peut potentiellement modifier l'emplacement des zones d'alimentation et des voies de migration. Ce qui peut rendre difficile la satisfaction des besoins énergétiques des individus.* »
« *Il est évident que la protection et la restauration des populations de baleines augmenteront leur capacité à séquestrer le carbone en fournissant une solution naturelle au changement climatique*, affirme D.J. Schubert, biologiste spécialiste des animaux sauvages à l'organisation caritative américaine Animal Welfare Institute. *La protection des baleines n'atténuera pas entièrement le changement climatique en soi, mais elle peut — et devrait — faire partie de la solution.* » C'est donc dans ce contexte que la CBI organise sa réunion. Après-celle-ci, un autre atelier devrait se concentrer, cette fois, sur les enjeux socio-économiques associés aux services sur les écosystèmes fournis par les baleines, une idée déjà évoquée par les économistes du Fonds monétaire international.

AWI

« La protection des baleines fournit une solution naturelle au changement climatique »

D. J. Schubert, biologiste spécialiste des animaux sauvages à l'organisation caritative américaine Animal Welfare Institute

Leur message : la protection des baleines a un coût qu'il convient de chiffrer en même temps que leur importance pécuniaire.

Un « salaire » minimum de 2 millions de dollars

Concrètement, il s'agit de repenser ce que veut dire le coût de la protection des cétacés à l'aune du changement climatique. « *Nous n'évaluons pas la valeur d'une baleine, mais la valeur des "services" qu'une baleine fournit à l'humanité* », précise Ralph Chami. Et de poursuivre de façon très imagée : « *Par exemple, je travaille pour le Fonds monétaire international et je suis payé pour mon travail. La baleine a travaillé pour l'humanité en capturant du carbone, en ajoutant plus de poissons dans l'océan et dans nos assiettes, et en assurant le tourisme mais, contrairement à moi, elle n'a pas été payée pour ses services.* » Il en déduit un « salaire minimum » de 2 millions de dollars par spécimen ! Un calcul moralement acceptable pour reconsidérer la protection de ces animaux ? « *Chaque créature a une valeur intrinsèque qui n'a pas de prix*, concède l'économiste. *Il n'y a pas de valeur monétaire possible pour évaluer une vie.* »
L'idée est plutôt de concevoir une compensation alors que « *le système actuel ne valorise les baleines que lorsqu'elles sont mortes, coupées en morceaux et servies dans certains restaurants.* » Il s'agit donc plutôt de valoriser leurs « services rendus » lorsqu'elles sont vivantes, libres de se déplacer dans un environnement sain. D'où l'idée du FMI de créer des mécanismes financiers pour les protéger et pour promouvoir la restauration de leur population. Ce qui pourrait se traduire par exemple par l'indemnisation par un gouvernement d'une compagnie maritime qui modifierait son itinéraire pour éviter tout risque de collision avec des cétacés. ■

SHUTTERSTOCK

« Tuber magnatum » ne se trouve à l'état naturel qu'au sud des Alpes.

Des truffes blanches dans son jardin

En séquençant le génome de la truffe noire, des chercheurs français ont découvert les différences moléculaires avec la truffe blanche, laquelle peut désormais être cultivée en verger.

DISCRÈTE, CAPRICIEUSE et pourtant domptée ! La truffe blanche d'Italie peut désormais être cultivée en verger en France auprès des traditionnelles truffes noires du Périgord et de Bourgogne. Après plus de vingt ans d'effort, l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) de Nancy a réussi à produire trois truffes en 2019 et quatre en 2020 au pied de chênes pubescents plantés dans un lieu tenu secret de Nouvelle-Aquitaine. « Tuber magnatum *n'avait jamais franchi les Alpes. Que nous ayons réussi à la faire pousser ici est une grande nouvelle* », se réjouit Claude Murat, chercheur à l'Inrae et principal auteur de l'article paru le 15 février dans la revue scientifique *Mycorrhiza*. Réputée pour son parfum et son goût supérieurs à ceux de la truffe noire du Périgord, la truffe blanche fait saliver. D'autant que la culture du champignon représente une manne financière : son prix ne descend jamais en dessous des 1 500 euros le kilo et peut dépasser les 5 000 euros les années de rareté. Tous les ans, elle génère ainsi 900 millions d'euros de revenus.

« *Sans l'ADN, nous ne serions pas arrivés à un tel résultat* », reconnaît Claude Murat. Le réseau de fins filaments que constitue le mycélium de *Tuber magnatum* est en effet peu développé et très difficile à identifier. Mais en partant notamment du séquençage du génome de la truffe noire (*Tuber melanosporum*) en 2008, les chercheurs de l'Inrae ont trouvé les différences moléculaires permettant d'identifier à coup sûr le précieux mycélium de la truffe blanche. Ces travaux ont débouché sur un contrat de licence avec le pépiniériste Robin, leader mondial de la vente de plants ensemencés de mycélium de champignons. « *Chacun de nos plants reçoit un contrôle morphologique et une analyse ADN avant d'être mis en vente dès cette année au prix de 100 euros pièce contre 12 euros pour la truffe noire* », précise Bruno Robin. En 2014, une poignée de trufficulteurs ont accepté de tester les plans. Cinq ans plus tard, le pari est gagné.

Une culture extrêmement exigeante

Et les chercheurs sont désormais en mesure de détailler les conditions de culture qui ont amené au succès. Car la truffe blanche est exigeante. Il lui faut un sol poreux composé à 50 % de sable, 30 % de limon, 20 % d'argile et la présence de pierres calcaires. Elle exige aussi beaucoup d'humidité et des températures n'excédant jamais 25 °C. Ces conditions, rarement réunies, expliquent pourquoi elle ne croissait auparavant que dans quelques fonds de vallée d'Italie du Nord et des Balkans. Mais l'adaptation réussie démontre que la truffe pourrait devenir une culture comme une autre. À condition de savoir travailler le sol, irriguer au bon moment ou encore tailler des arbres pour obtenir des récoltes rentables. Et la blanche ne remplacera pas la noire mais la complétera au cours de l'année puisqu'elle se récolte d'octobre à décembre quand *Tuber melanosporum* est mature de décembre à février. ■

Loïc Chauveau
@Loic_Chauveau

Réveillez

l'explorateur

qui est en vous !

World Explorer

Ultramarine

Quark Expeditions®

The Leader in Polar Adventures

BLEU INFINI
Voyages de caractère

Renseignements et réservations Bleu Infini :
04 72 76 75 66 | www.bleu-infini.fr

Embarquez pour le voyage d'une vie à la découverte de l'Antarctique avec Bleu Infini & Quark Expeditions !

L'Antarctique inspire les explorateurs depuis des siècles, maintenant c'est à votre tour de découvrir les merveilles du continent blanc.

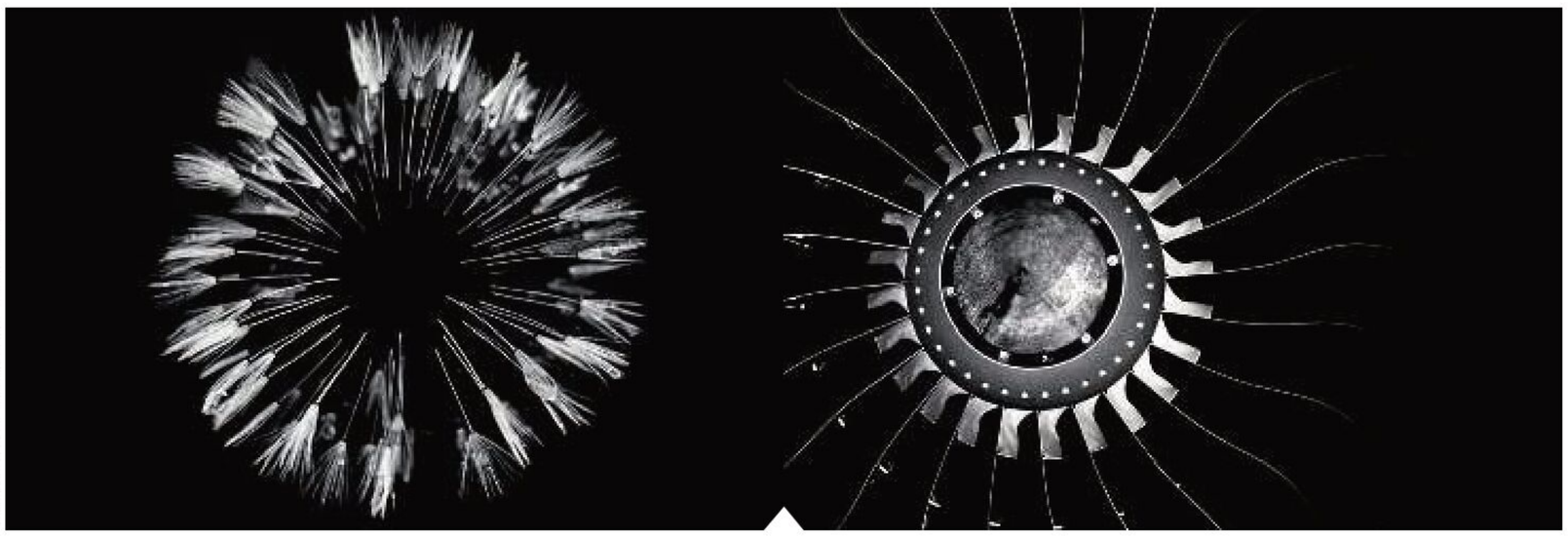
Rejoignez l'une de nos expéditions francophones :

- Antarctique Terre Extrême :
  du 18 Novembre au 2 Décembre 2021 ou 5 au 19 Janvier 2022
- Voyage spécial éclipse solaire en Antarctique et Géorgie du Sud :
  du 24 Novembre au 14 Décembre 2021

Nature et technique en miroir

Le concours Mimesis, dont « Sciences et Avenir » est partenaire, récompense des analogies entre des photos de nature et des images issues de l'univers technique.

Plus de 10 000 étonnantes images de nature, en provenance de 38 pays ! Le concours Mimesis — « imitation » en grec — organisé par le groupe industriel français Safran et la plate-forme communautaire dédiée à la photo Wipplay, en partenariat avec *Sciences et Avenir* et le musée des Arts et Métiers*, a suscité un réel enthousiasme. Objectif : élaborer des diptyques révélateurs des analogies entre photos de nature et images issues de l'univers technique. Trois lauréats ont été récompensés par le jury. Le premier réveille le rêve d'enfant de souffler sur une graine de pissenlit. Impossible de passer à côté de l'aigrette, avec ses petits parachutes blancs, tout en légèreté et symétrie. À la photo baptisée « Faisceaux » de Laetitia Montastier, répond l'objet technique *ad hoc* : une soufflante de turboréacteur, vue de face par Vladimir Borodine. Même idée de légèreté, alors que l'ensemble moteur, invisible ici, affiche plus de 2 tonnes. Comme le rappelle Kalina Raskin, fondatrice et présidente du Centre européen d'excellence en biomimétisme de Senlis (Oise), *« le biomimétisme consiste à comprendre comment fonctionnent les systèmes biologiques et à essayer de transposer la compréhension de ces phénomènes dans les systèmes humains. Cela va de l'exploration technologique jusqu'à l'exploration organisationnelle. »* On ne s'étonnera pas qu'un autre sujet volant ait été plébiscité. La libellule et ses ailes irisées, signée Thierry Dufour. Face aux ailes chatoyantes, les couleurs virevoltantes de fibres de carbone sur un métier à tisser en 3D. Captation par Cyril Abad (Capa pictures), dans un centre de recherche et développement sur les matériaux composites pour l'aéronautique, à Itteville (Essonne). La troisième image, baptisée « Un détail de valériane » par son auteur Hans Marty, a trouvé son *alter ego* dans un « détail de câbles » de l'usine de Villemur-sur-Tarn (Haute-Garonne), sous l'objectif également de Cyril Abad.



LAETITIA MONTASTIER / VLADIMIR BORODINE / CONCOURS MIMÉSIS SAFRAN WIPPLAY

Graine de pissenlit de Laetitia Montastier et **soufflante de turboréacteur** de Vladimir Borodine.

MEXICO / ADRIEN DASTE / CONCOURS MIMÉSIS SAFRAN WIPPLAY

Araignée aux multiples yeux (photo prise au Mexique) et **jumelles infrarouge** d'Adrien Daste.

De l'art de piéger les rayonnements

Mais le coup de cœur de *Sciences et Avenir* et le prix Spécial du jury est un diptyque où trône d'un côté une imposante araignée aux multiples yeux (photo venue du Mexique), et de l'autre un dispositif très spectaculaire tenu par un homme pour voir de nuit — des jumelles infrarouge photographiées par Adrien Daste (Safran). Cette coïncidence dans l'art de piéger les rayonnements, plus loin encore que dans notre domaine visible habituel — certaines araignées sauteuses peuvent voir dans l'ultraviolet — était séduisante. Et l'apparence comparable des capteurs (de l'animal et de la technique) saute aux yeux. Intrigant lors d'un concours qui apprend à regarder. À redécouvrir sur les grilles du musée des Arts et Métiers, à Paris.

Dominique Leglu @dominiqueleglu

* sciav.fr/890mimesis

LES INDISPENSABLES

SCIENCES ET AVENIR

LES INDISPENSABLES

Osez vous faire plaisir !

Le nouveau guide du BIEN MANGER

✔ À privilégier
✔ À modérer
✔ À éviter

Dr Laurent Chevallier, médecin nutritionniste au CHU de Montpellier

Nadia Sammut, cheffe étoilée de l'Auberge la Fenière

DIABÈTE, CANCER, CHOLESTÉROL...

Les aliments qui protègent votre santé

en vente en kiosque

PAR CÉLINE GUIVARCH *

Les discours du délai

Un nouveau type de discours, nocifs pour l'action face au changement climatique, se développe : les discours « du délai ». Contrairement aux assertions des climato-sceptiques, ces arguments sont fondés sur une reconnaissance de l'existence du changement climatique et son origine anthropique, mais ils cherchent à justifier l'inaction ou une action minimale. Plusieurs catégories peuvent en être décryptées. Tout d'abord ceux qui réorientent la responsabilité : ce sont « les autres » — pays, groupes, individus — qui devraient agir avant « nous ». Ainsi, pourquoi la France devrait-elle agir alors qu'elle ne représente « que » 1 % des émissions mondiales ? C'est oublier que son empreinte carbone — rapportée à la population — est de 11 tonnes d'équivalent CO_2 par habitant… soit près du double de la moyenne mondiale. Viennent ensuite les arguments qui détournent l'attention vers des solutions non transformatrices, des « petits gestes » — comme supprimer les gobelets en plastique — qui, bien que vertueux, sont loin d'être à la hauteur de l'enjeu ; ou vers des promesses de solutions technologiques prétendues imminentes mais en réalité lointaines et risquées, comme les technologies de captage et stockage du CO_2. D'autres encore mettent l'accent sur les désavantages de l'action — comme les risques qu'ils feraient encourir aux plus pauvres — pour s'exonérer et éviter toute politique publique climatique. Enfin, certains arguent du fait qu'il serait trop tard pour limiter le changement climatique, alors que précisément chaque action compte car chaque fraction de degré compte. Ces discours s'appuient sur des préoccupations légitimes mais ils empêchent d'agir à la hauteur des enjeux, lorsqu'ils suscitent l'adversité plutôt que la recherche de solution, ou lorsqu'ils visent à démobiliser ou décrédibiliser. Ils imprègnent les débats actuels. Savoir les reconnaître est une première étape pour s'en prémunir. ■

> « Ces discours s'appuient sur des préoccupations légitimes mais ils empêchent d'agir à la hauteur des enjeux »

* Directrice de recherche à l'École des ponts, auteure principale du 6e rapport du Giec, groupe 3, elle est par ailleurs lauréate du prestigieux prix Irène Joliot-Curie de la jeune femme scientifique.

Les sables du Sahara font voyager le césium

Des épidodes venteux ont répandu sur le continent des éléments radioactifs provenant des essais nucléaires menés depuis la Seconde guerre mondiale.

Des teneurs en radioactivité dans l'air parfois multipliées par 11 par rapport à la même période de l'année précédente ! C'est ce qui a été enregistré à la suite des trois épisodes de vent du sud de février. En cause ? Le césium 137 présent dans les sables du Sahara charriés dans les airs, qui ont par trois fois teinté le ciel européen d'une couleur ocre. La présence de ces éléments radioactifs a vite été attribuée aux essais nucléaires français en Algérie, mais, en réalité, *« ils proviennent plutôt de ceux des États-Unis et de l'URSS, qui représentent 95 % des dépôts de césium sur la planète »*, corrige Philippe Renaud, chercheur à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). En effet, 543 essais nucléaires atmosphériques se sont déroulés entre 1945 et 1963, date d'entrée en vigueur du traité d'interdiction de l'explosion de ces bombes (non signé par la France).

K. KONRAD/SIPA

Le ciel de Lyon, teinté d'ocre par le sable du Sahara charrié par les vents du Sud, le 6 février dernier.

Un risque sanitaire jugé faible

La guerre froide a ainsi laissé des traces qui perdureront encore 250 ans, le temps que ces radioéléments perdent toute activité. De fait, le césium 137 est présent partout dans l'hémisphère Nord, là où la majorité des essais ont été réalisés. Là aussi où a explosé la centrale nucléaire ukrainienne de Tchernobyl, autre source de césium. En 1986, le nuage provoqué par l'accident a parcouru toute l'Europe, les pluies déposant des particules de quelques micromètres. *« Ainsi, le césium retrouvé en Bretagne est en majorité issu des essais, tandis que celui d'Alsace provient de Tchernobyl »*, poursuit Philippe Renaud.
Ces dépôts présents dans tous les sols profitent ainsi de la moindre occasion pour reprendre leur voyage aérien. L'érosion éolienne du Sahara donc, mais aussi celle plus proche des terres labourées non protégées par les végétaux, et les feux de cheminées ! *« Les plantes absorbent les radionucléides, c'est pourquoi il est interdit de manger des légumes et des fruits après un accident nucléaire,* explique Philippe Renaud. *Les arbres le font aussi et c'est en brûlant des bûches que l'on relargue le plus de césium ! »*
Heureusement, le risque sanitaire est faible. Ces dégagements sont vingt fois inférieurs à la limite d'exposition des populations à la radioactivité non naturelle fixée à 1 millisievert par an. ■

Loïc Chauveau @Loic_Chauveau

A. BILLET

Balade Fluviale au Cœur des Arts

Sur la trace des Maîtres flamands et hollandais

Düsseldorf-Anvers-Gand-Rotterdam-Delft-La Haye-Amsterdam-Nimègue

Du 18 au 24 Juin 2021 au départ de Paris

Croisière 100% francophone

A bord de l'Elegant Lady,
un bateau à taille humaine
(120 passagers)
Au départ de Paris en train

Oksana Garin
Conférencière des Ministères de la Culture et du Tourisme

Cédric Cabanne
Conférencier, professeur d'histoire et géographie, spécialiste en géopolitique

Les voix de la connaissance

Les paysages de Hollande ont été magnifiés par les peintres du Siècle d'Or. Oksana Garin et Cédric Cabanne vous emmèneront à la rencontre de leurs œuvres, des primitifs flamands aux grands chefs-d'œuvre de Rubens, de Rembrandt, de Vermeer. Sans oublier l'Art Moderne et bien sûr les trésors de ce plat pays, sculpture, architecture contemporaine, et les petits joyaux traditionnels que sont les moulins, les digues ou les écluses qui jalonnent le parcours. Vous pousserez la porte de prestigieux musées tels le célèbre Rijksmuseum, la fondation Kroller Muller ou encore le Mauritshuis qui regorgent d'inestimables trésors. Et tout au long de votre croisière la musique vous accompagnera !

Une superbe croisière pour le retour des beaux jours !

À partir de 1 940 € par personne
en cabine double. Toutes les cabines sont extérieures.

Pour tout renseignement, réservation et demande de brochure, merci de contacter :

Plein Cap Croisières au **04 93 20 21 20** ou par courriel à **info@plein-cap.com**

Programme détaillé sur **www.plein-cap.com**

PLEIN CAP CROISIÈRES

La Culture au Fil de l'Eau

Pour recevoir le programme détaillé merci de renvoyer ce coupon à
Plein Cap Croisières - 251 route de la Colle - 06270 Villeneuve-Loubet

Nom : . . . . . Prénom : . . . . . .

Adresse : . . . . . .

Code Postal : . . . . . Ville : . . . . . .

Tél. : . . . . . Courriel : . . . . . .

Conformément à la loi « Informatique et Liberté » du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre demande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification et de rectification des données vous concernant. Immatriculation IM006120053. Les Conditions Générales de Vente 2021 sont disponibles sur le site www.plein-cap.com.
Les conférenciers sont non contractuels, sous réserve de disponibilité. Crédits photos : shutterstock.com/Plantours*

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

Un nouvel espoir contre l'allergie à la cacahuète

Pour combattre cette pathologie redoutable, pour la première fois un médicament d'immunothérapie orale sera bientôt disponible en pharmacie. Il repose sur l'ingestion quotidienne de faibles doses d'arachide afin de désensibiliser progressivement le corps. Explications.

Par Sylvie Riou-Milliot

LES UNS LES GRIGNOTENT SANS Y PENSER, d'autres les fuient comme la peste. C'est que les cacahuètes, que l'on nomme aussi « pistaches de terre », ont un pouvoir allergisant qui peut être extrêmement puissant. Le simple fait d'en inhaler de la poudre dans l'air peut induire une réaction chez les plus sensibles ! Une réalité qui a conduit peu à peu toutes les compagnies aériennes à les bannir de leurs services en vol. L'ouverture quasi simultanée des sachets par les passagers entraînant la dispersion dans l'air d'une poudre risquant de transformer le temps de l'apéritif en un cauchemar pour les éventuels allergiques à bord. Pour ces derniers, une seule alternative : l'éviction totale de leur régime alimentaire ou la désensibilisation, une solution souvent contraignante qui consiste à rendre son corps tolérant à leur contact. Les médecins parlent d'induction de tolérance orale (ITO) ou d'immunothérapie orale.

Cette approche repose sur l'ingestion quotidienne de quelques milligrammes d'arachide afin de rendre le système immunitaire tolérant (*voir l'infographie p. 60*). *« Elle n'est proposée que depuis une dizaine d'années, uniquement dans les services d'allergologie, toujours dans le cadre d'une décision partagée entre familles et soignants, en alternative à l'éviction totale »*, détaille la

0,5 %
de la population française (1 % de la population nord-américaine) est allergique à l'arachide.

Un décès par an
environ en France.

40 %
des allergiques à l'arachide sont aussi allergiques à un autre fruit à coque (pistache, cajou, noisette, noix…).

SPL/ADRIENNE HART-DAVIS

C. JOUANNET - CHU ANGERS

« La forme disponible en pharmacie permettra de s'affranchir des pesées à la maison »

Dr Martine Morisset, responsable de l'unité d'allergologie du centre hospitalier universitaire d'Angers (Maine-et-Loire)

Dr Martine Morisset, responsable de l'unité d'allergologie du CHU d'Angers (Maine-et-Loire). Mais d'ici à quelques mois il sera aussi possible d'aller chercher en pharmacie le premier « médicament », qui a récemment obtenu les feux verts américains et européens, permettant de se désensibiliser progressivement et au demi-milligramme près de l'arachide. « *Aujourd'hui, les approches d'ITO restent propres à chaque équipe* », remarque la Dr Amandine Divaret-Chauveau, allergo-pédiatre à l'hôpital de Nancy (Meurthe-et-Moselle), un établissement impliqué depuis longtemps dans la prise en charge des allergies alimentaires. En pratique, à l'hôpital, chaque jour sont réalisées des préparations « maison », avec un gâteau apéritif type Curly, une friandise comme les M&M's ou une cacahuète réduite en poudre afin d'en recueillir dix milligrammes rigoureusement pesés par une balance ultraprécise. Car l'ennemi est toujours le même : la graine de la plante *Arachis hypogaea*. « *Plus précisément, certaines de ses principales protéines dites Ara h 1, Ara h 2, Ara h 3, Ara h 6, les plus dangereuses* », détaille Stéphane Hazebrouck, chercheur en immunoallergologie à l'Inrae (Institut national de la recherche pour l'agriculture, l'environnement et l'alimentation). Ce sont elles les responsables soit du choc anaphylactique — une réaction allergique extrême à haut risque —, soit de signes plus variés : picotements dans la bouche, douleurs abdominales, nausées, urticaire, démangeaisons, difficultés respiratoires, etc.

« *La forme disponible en pharmacie permettra de s'affranchir des contraintes de pesée* », souligne Martine Morisset. L'objectif restant d'éviter les accidents graves, ceux qui surviennent quand on ingère à son insu de petites quantités d'arachide, la graine étant très souvent cachée dans des friandises, des biscuits ou des sauces. Plusieurs études cliniques menées auprès de près d'un millier de malades ont démontré qu'environ 50 % des patients sous poudre d'arachide devenaient tolérants contre 2 % de ceux du groupe placebo. Reste à savoir quel sera le prix du traitement en Europe. Aux États-Unis, celui au Palforzia (du laboratoire Aimmune Therapeutics, propriété de Nestlé) revient à 900 dollars par mois !

Des gellules avec une dose sur mesure

Dans les gélules et sachets du « médicament » on trouve de la poudre d'arachide allégée en graisses à différents dosages (0,5, 1, 10, 20, 100, 300 mg). « *Pour vider le contenu de la gélule, tirer doucement sur ses deux extrémités et les rouler délicatement entre le pouce et l'index* », peut-on lire sur la notice. La poudre beige libérée devra ensuite être mêlée à un liant (comme un yaourt ou une compote) avant d'être ingérée. Comme avec l'ITO « maison », un schéma progressif (phases initiales, d'augmentation et d'entre-

SCOLARITÉ

La sécurité des enfants renforcée

PAI. Ces trois lettres bien connues des parents d'enfant atteints de pathologies chroniques désignent un « projet d'accueil individualisé ». Ce document est rédigé par le médecin à la demande des parents pour un accueil en toute sécurité dans l'univers scolaire. *« L'allergie alimentaire est après l'asthme, le second motif de demande de PAI »*, précise le Dr Guillaume Pouessel, pédiatre (Lille et Roubaix). Mis en place en 2003, le PAI était en attente d'actualisation par le ministère de l'Éducation nationale depuis près de dix ans. Un nouveau document devrait sortir au printemps. Trois nouveautés importantes : *« Le renforcement de l'information du personnel scolaire mais aussi périscolaire, la possibilité pour l'enfant de pouvoir conserver avec lui sa trousse de secours, et surtout un document unique national sur la conduite à tenir en cas d'urgence »*, précise le pédiatre qui a piloté cette actualisation avec le groupe de travail de la Société française d'allergologie en lien avec l'Éducation nationale. Dès les premiers signes, dans le cadre du PAI, n'importe qui peut pratiquer une injection d'adrénaline en intramusculaire, avant même d'appeler les secours. Un geste qui sauve des vies.

GARO/PHANIE

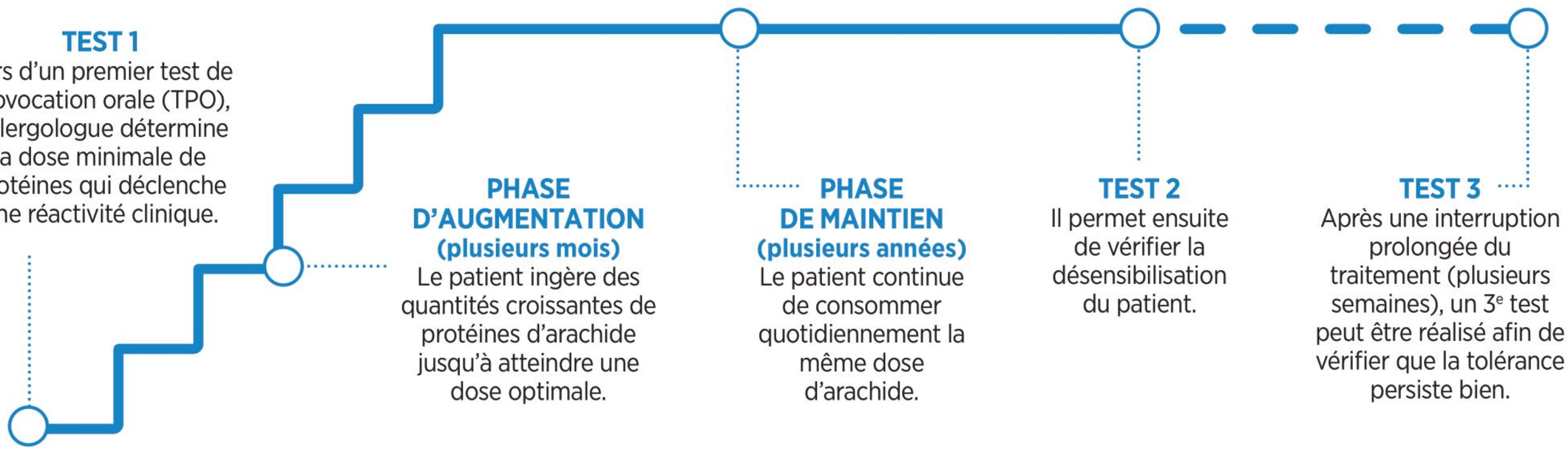
L'enfant pourra si besoin recevoir une dose d'adrénaline avant même l'arrivée des secours à l'école, grâce à la trousse d'urgence.

tien qui durent plusieurs mois et au cours desquelles la dose est progressivement accrue) devra être établi pour chaque patient. *« Aucune standardisation de dose ne sera possible car tout dépend du seuil de réactivité de chacun »*, insiste Martine Morisset. Ce seuil est évalué au cours d'un bilan complet : interrogatoire précis, test de provocation orale (ingestion de doses croissantes d'arachide sous surveillance), tests cutanés, dosage sanguin d'anticorps spécifiques anti-arachide (immunoglobulines dites E). L'indication d'ITO diffère d'une personne à l'autre selon le degré de sévérité de l'atteinte et la présence fréquente (environ 30 % des cas) d'autres allergies alimentaires associées. Malheureusement, il est impossible aujourd'hui de prédire chez qui l'ITO sera un succès ou un échec. Aussi, qu'elle soit « maison » ou « médicamenteuse », cette approche est toujours réservée aux familles investies, capables de gérer au long cours — plusieurs années — un accompagnement souvent ressenti comme fastidieux, source de lassitude, conduisant parfois à un abandon. Car le parcours des patients et de leur entourage familial est toujours complexe, affectant considérablement la qualité de vie, l'angoisse de l'accident allergique grave demeurant omniprésente et culpabilisante.

Une gestion quotidienne sur plusieurs années

Exemple, avec Paul, 16 ans, suivi en ITO à Nancy comme une centaine d'autres jeunes allergiques. Pour lui, l'allergie s'est révélée à l'âge de 2 ans lors d'un choc anaphylactique à la suite de l'ingestion accidentelle d'un biscuit apéritif. Dans un premier temps, l'éviction totale lui a été proposée et plusieurs années se sont écoulées au cours lesquelles ses parents ont dû obsessionnellement traquer toute trace d'arachide dans son alimentation (panier-repas maison à la cantine, gâteau personnel apporté lors des anniversaires avec les amis…). Sans compter la gestion de sa trousse d'urgence, partout, y compris à l'école *(lire l'encadré)*. En 2018, une ITO a été démarrée à 10 mg par

Le principe de l'immunothérapie orale



© ASTIER/BSIP

Les tests cutanés, qui consistent à appliquer des allergènes sur la peau pour observer la réactivité, permettent d'identifier l'allergie dès le plus jeune âge.

jour. *« 10 mg, c'était compliqué !* se souvient sa mère. *On préparait dans un pilulier pour plusieurs jours.* » Depuis trois ans, tous les soirs au moment du dessert, un même rituel : avaler — parfois avec dégoût — l'arachide cachée dans une cuiller de yaourt chocolaté, le seul arôme qui parvienne à (presque) faire oublier à Paul la forte odeur de la cacahuète. Un rituel qui devra néanmoins sans doute durer encore quelque temps car *« le recul des études dont nous disposons montre qu'après cinq ans d'ITO et en cas d'arrêt, 30 à 40 % des patients perdent en quelques semaines leur tolérance »*, précise Martine Morisset.

Patch, vaccin nasal : d'autres voies sont à l'étude

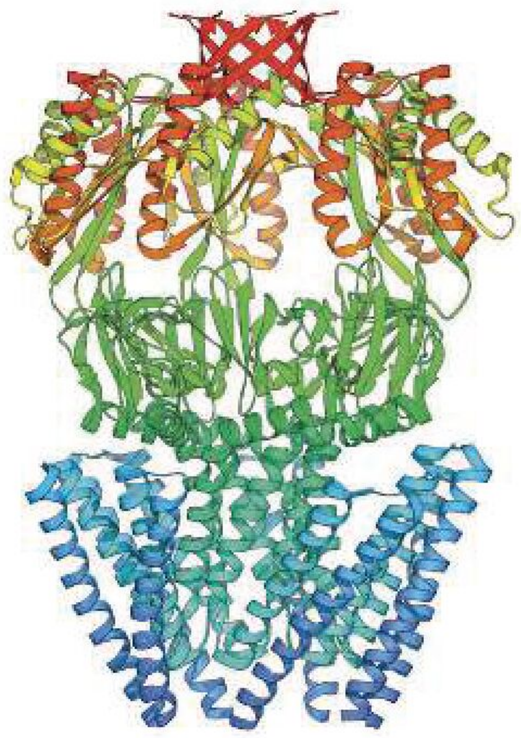
Paul n'est évidemment pas seul. *« En France, nous n'avons pas de données précises mais on estime que 0,5 % de la population est allergique à l'arachide, et aux États-Unis, c'est plus du double »*, précise Antoine Deschildre, pneumo-pédiatre au CHU Jeanne-de-Flandre (Lille). *« Cette allergie apparaît dès les premières années de vie*, complète Amandine Divaret-Chauveau. *Mais contrairement à celle au lait de vache ou à l'œuf qui disparaît spontanément dans 70 % des cas avant l'âge de 3 ans, celle à l'arachide ne disparaît que chez moins d'un enfant sur 5 après 5 ans.* » Ainsi, la cacahuète est responsable de plus de la moitié des décès dus à une allergie alimentaire. Soit environ un par an en France.

L'arrivée dans les pharmacies du Palforzia pourrait pour les allergiques n'être qu'un premier espoir. *« De nouvelles études encourageantes ont démontré l'intérêt de l'ajout à l'ITO d'une molécule utilisée dans l'asthme non encore validée dans les allergies alimentaires »*, signale Martine Morisset. L'association à l'omalizumab (Xolair, laboratoire Novartis) permettrait, selon les premiers résultats, une désensibilisation plus rapide et avec moins d'effets secondaires. Mais d'autres approches sont en cours. Comme la désensibilisation non plus orale mais cutanée, par le biais d'un patch (Viaskin, DBV, propriété de Nestlé) là encore appliqué quotidiennement. Ou encore un vaccin nasal déjà testé chez la souris en 2018 avec succès. Sans oublier bien sûr le suprême espoir, une cacahuète totalement débarrassée de ses allergènes sur laquelle travaillent des chercheurs français et américains.

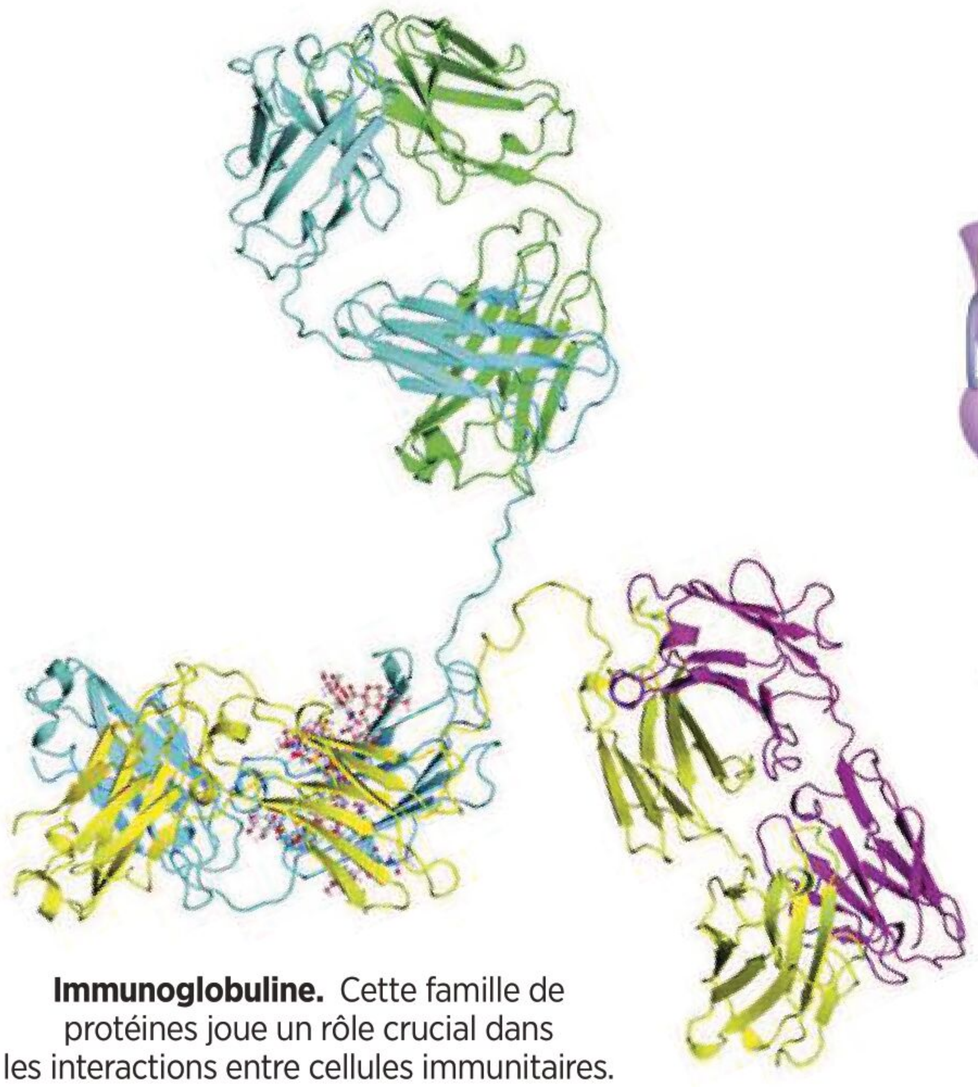
Mais si l'allergie ne se guérit, pas, elle peut néanmoins être prévenue. Les recommandations les plus récentes, édictées en 2017 par la Société américaine de pédiatrie, prônent pour les femmes enceintes un régime normal équilibré, et aussi une introduction précoce plusieurs fois par semaine d'arachide dans l'alimentation du nouveau-né dès 5 mois, et non plus à partir de 12 mois comme par le passé. Prévenir donc plutôt que guérir, avec l'arachide aussi. ■

ÉTIQUETAGE
14 allergènes à déclarer

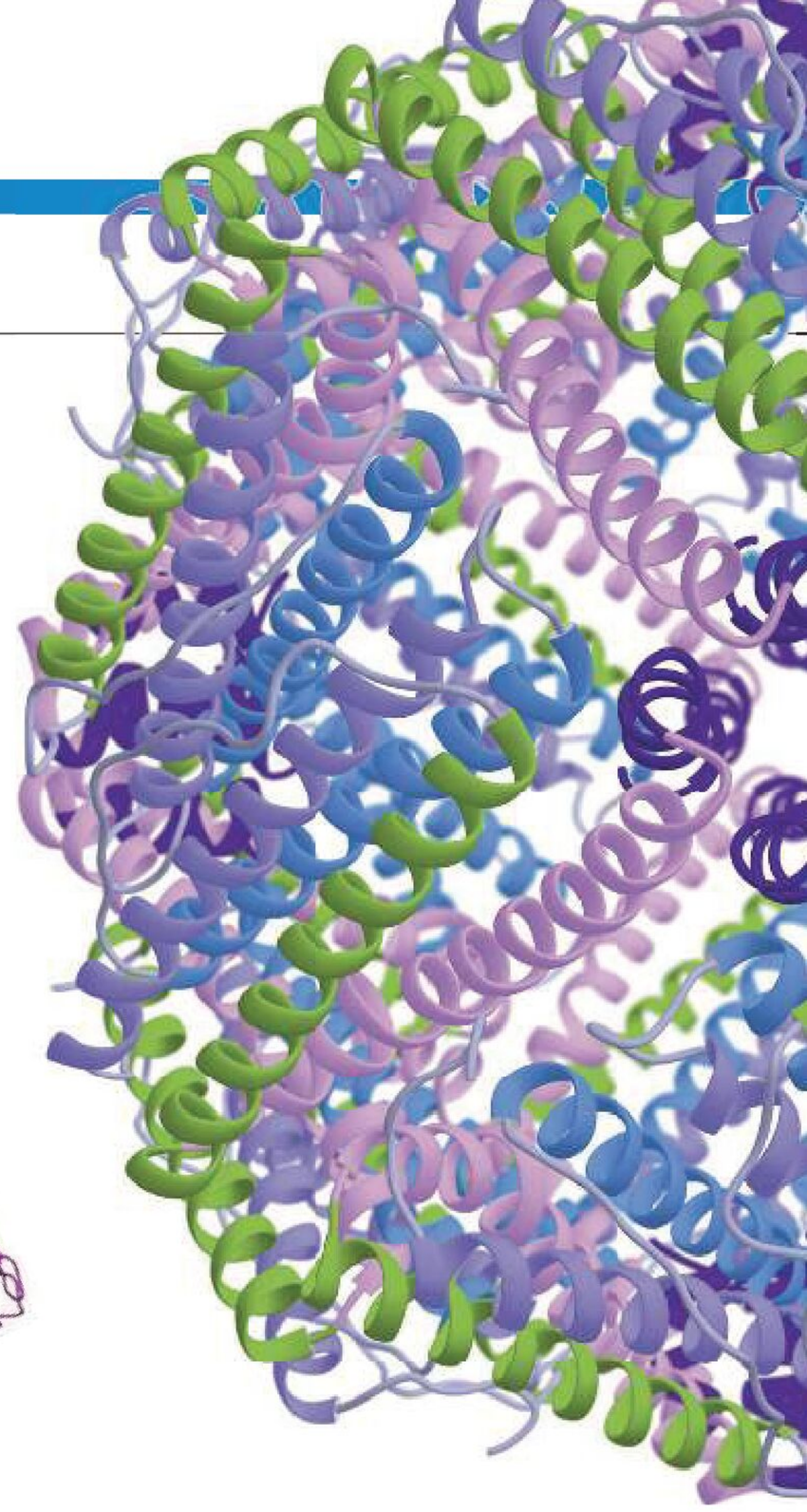
- Céréales contenant du gluten (blé, seigle, orge, avoine, épeautre, Kamut).
- Fruits à coque (amandes, noisettes, noix, noix de cajou, de pécan, de macadamia, du Brésil, pistaches).
- Crustacés
- Céleri
- Œufs
- Moutarde
- Poissons
- Soja
- Lait (et tous les produits contenant du lactose)
- Anhydride sulfureux et sulfites (à des teneurs de plus de 10 mg/kg ou 10 mg/l)
- Graines de sésame
- Lupin
- Arachides
- Mollusques



Protéine du canal ionique MscS de la bactérie *E. coli*. Les MscS permettent la détection des stimuli.



Immunoglobuline. Cette famille de protéines joue un rôle crucial dans les interactions entre cellules immunitaires.



Une intelligence artificielle prédit la forme des protéines

Le programme informatique AlphaFold2 peut déterminer la structure 3D d'une protéine en quelques jours de calculs, alors que cela prenait des années aux chercheurs auparavant. Un exploit qui ouvre des perspectives inédites pour soigner des maladies.

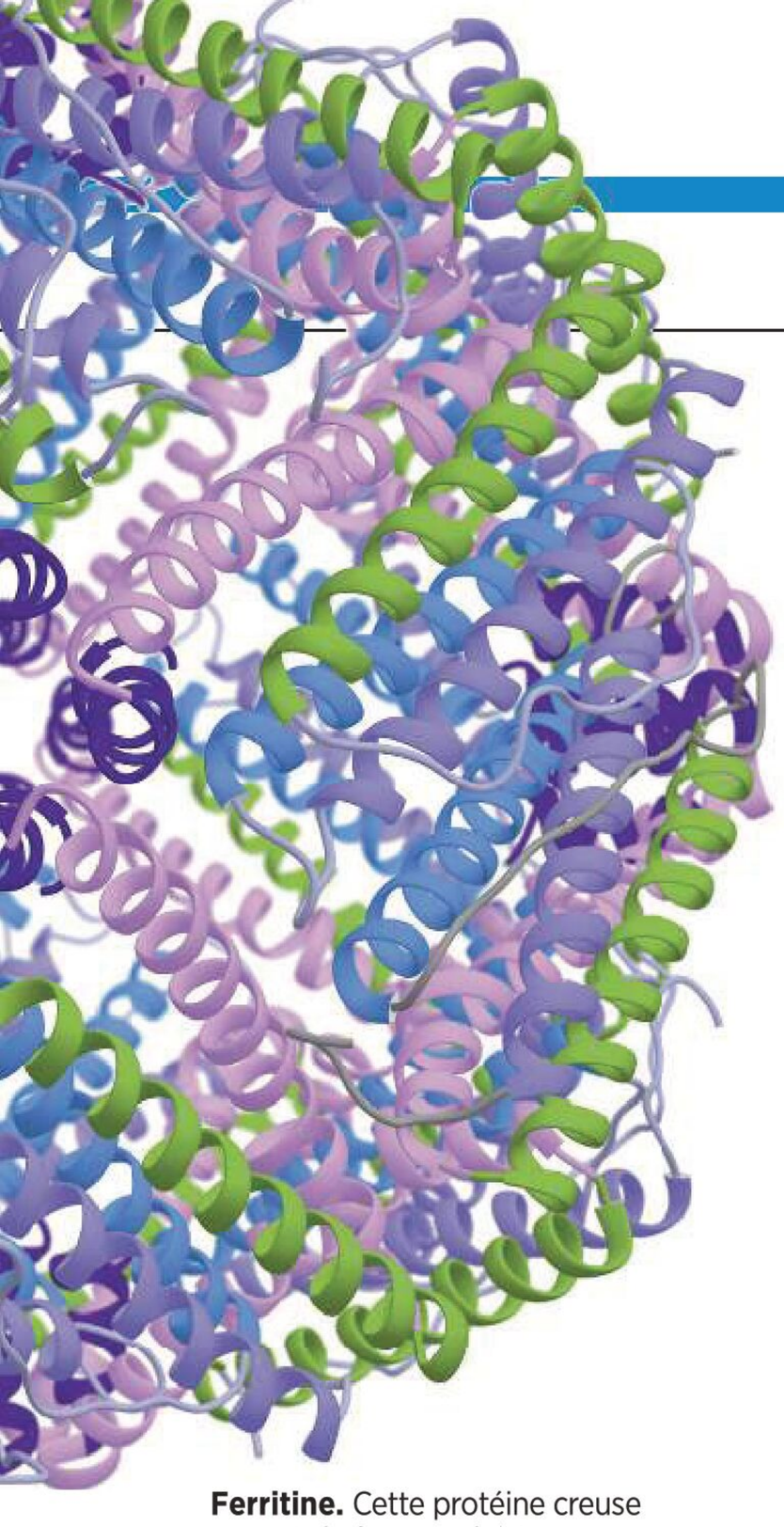
C'ÉTAIT L'ÉNIGME LA PLUS CORIACE de la biologie moderne : comment les protéines, ces molécules gigantesques indispensables à nos organismes, se replient-elles ? Comment passent-elles de simples chaînes linéaires d'acides aminés à des formes tridimensionnelles compactes qui se comportent comme des nanomachines biologiques ? Après un demi-siècle de tâtonnements, d'échecs cinglants et de maigres succès, le programme informatique d'intelligence artificielle AlphaFold2 conçu par la firme DeepMind (propriété de Google) coiffe aujourd'hui tout le monde au poteau pour répondre à ces questions. Avant lui, les chercheurs n'étaient capables de prédire que 40 % de la structure tridimensionnelle d'une protéine et il leur fallait des mois voire des années de travail pour aboutir à ce résultat. AlphaFold2 affiche des résultats supérieurs à 90 % et ce, en à peine quelques jours.

C'est un volet totalement inédit de la biologie qui s'entrouvre aujourd'hui : pouvoir connaître la structure de toutes les protéines, en concevoir de nouvelles, dont des antibiotiques ou des médicaments à façon, mieux comprendre et soigner certaines maladies consécutives à de mauvais repliements protéiques comme Alzheimer ou le diabète de type II. « *Pendant plusieurs décennies, le domaine a très peu bougé*, explique Élodie Laine, du Laboratoire de biologie computationnelle et

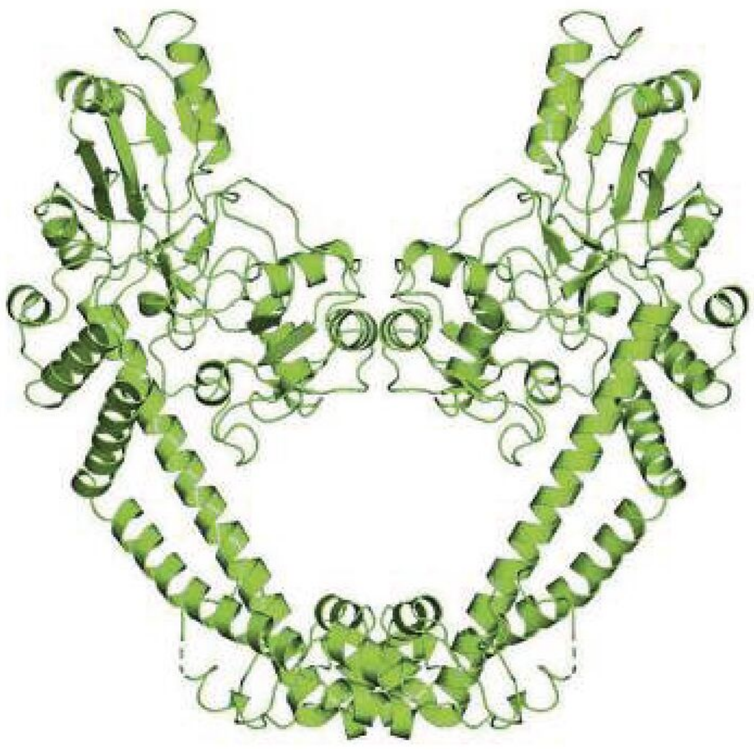
ELODIE LAINE

« La commnauté scientifique qui travaille sur ces structures a été abasourdie par ces succès »

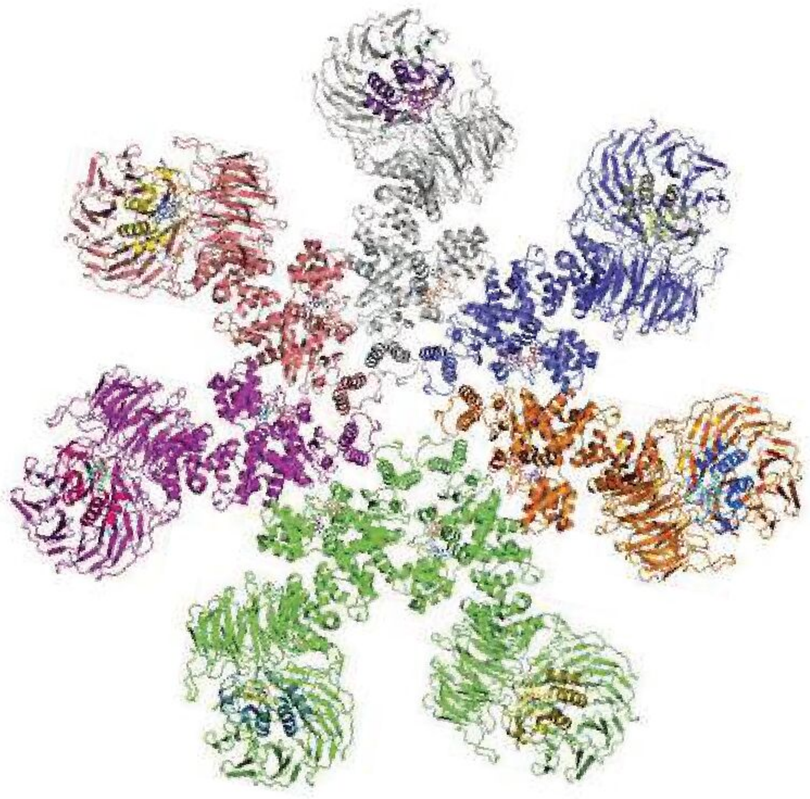
Élodie Laine, Laboratoire de biologie computationnelle et quantitative de Sorbonne Université-CNRS, à Paris



Ferritine. Cette protéine creuse et de forme sphérique stocke le fer.



Fragment de gyrase. Cette protéine propre aux bactéries est indispensable à la réplication de leur chromosome.



Complexe de l'apoptosome. Cet assemblage de protéines intervient dans l'apoptose, la mort cellulaire.

Les protéines

assurent la plupart des réactions chimiques existantes au sein de la cellule. Elles servent également de matériaux de construction pour les structures cellulaires ou véhiculent des molécules d'un bout à l'autre de la cellule. Sur les exemples ci-dessus, les différentes couleurs rendent compte de la variété des sous-unités qu'elles peuvent comporter.

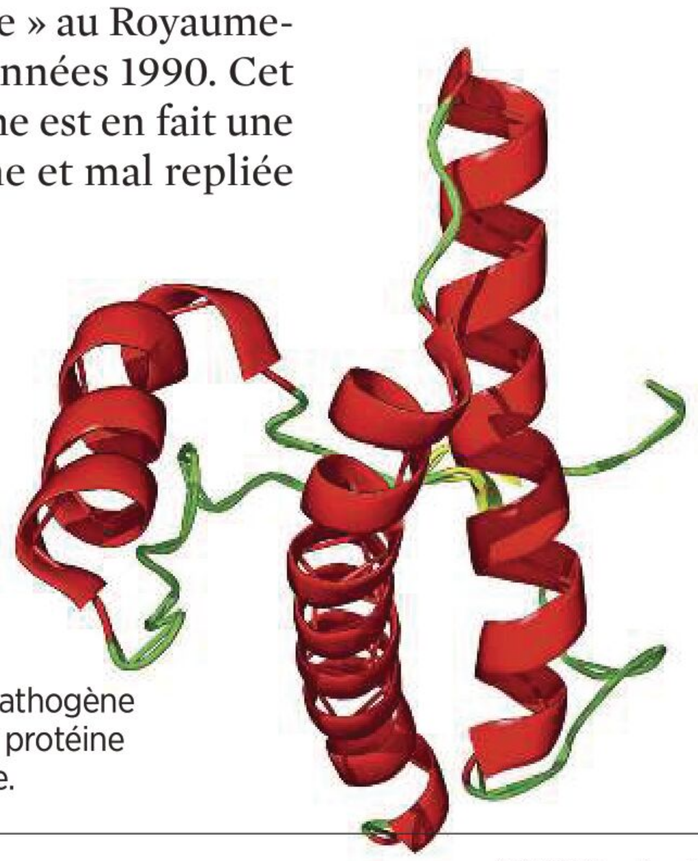
SCIENCE PHOTO LIBRARY / LAGUNA DESIGN - PDB - SCIENCE PHOTO LIBRARY - PDB

quantitative de Sorbonne Université-CNRS (Paris). *En l'espace d'un demi-siècle, sur les 200 millions de protéines répertoriées, la structure de moins de 60 000 a été élucidée ! Et, soudain, en l'espace de deux ans, AlphaFold a totalement bouleversé le domaine. La communauté scientifique qui travaille sur les structures de protéines a été abasourdie par ces succès. Et, pour le moment, elle ne sait pas comment réagir.* »

Un origami doué d'auto-organisation

La question du repliement des protéines est essentielle car c'est en adoptant une forme tridimensionnelle que celles-ci acquièrent leurs fonctions. Une protéine est l'équivalent d'un outil. Et c'est la forme qui fait l'outil. Seulement, si connaître la composition en acides aminés d'une protéine est simple, il en va tout autrement de la structure finale. Car les briques élémentaires d'acides aminés interagissent, se lient les unes aux autres ou au contraire se repoussent. Et plus une protéine en comporte, plus les interactions sont nombreuses. Chaque protéine est ainsi comme un origami doué d'auto-organisation où une seule conformation se révèle la bonne parmi les milliards de milliards de combinaisons possibles.

Lorsqu'une erreur survient dans le repliement d'une protéine, les conséquences sont dramatiques. L'exemple le mieux connu est celui de la protéine prion pathologique qui a entraîné la « crise de la vache folle » au Royaume-Uni, dans les années 1990. Cet agent pathogène est en fait une version maligne et mal repliée d'une protéine essentielle pour l'organisme. Tout comme l'est la protéine Tau qui s'accumule sous une forme anormale dans le cerveau et provoque de nombreuses démences dont la maladie d'Alzheimer. Ou encore, la protéine alpha-synucléine dont l'agrégation toxique est liée à la maladie de Parkinson.



Prion. Cet agent pathogène est formé par une protéine mal repliée.

SCIENCE PHOTO LIBRARY/PHIL DEGGINGER

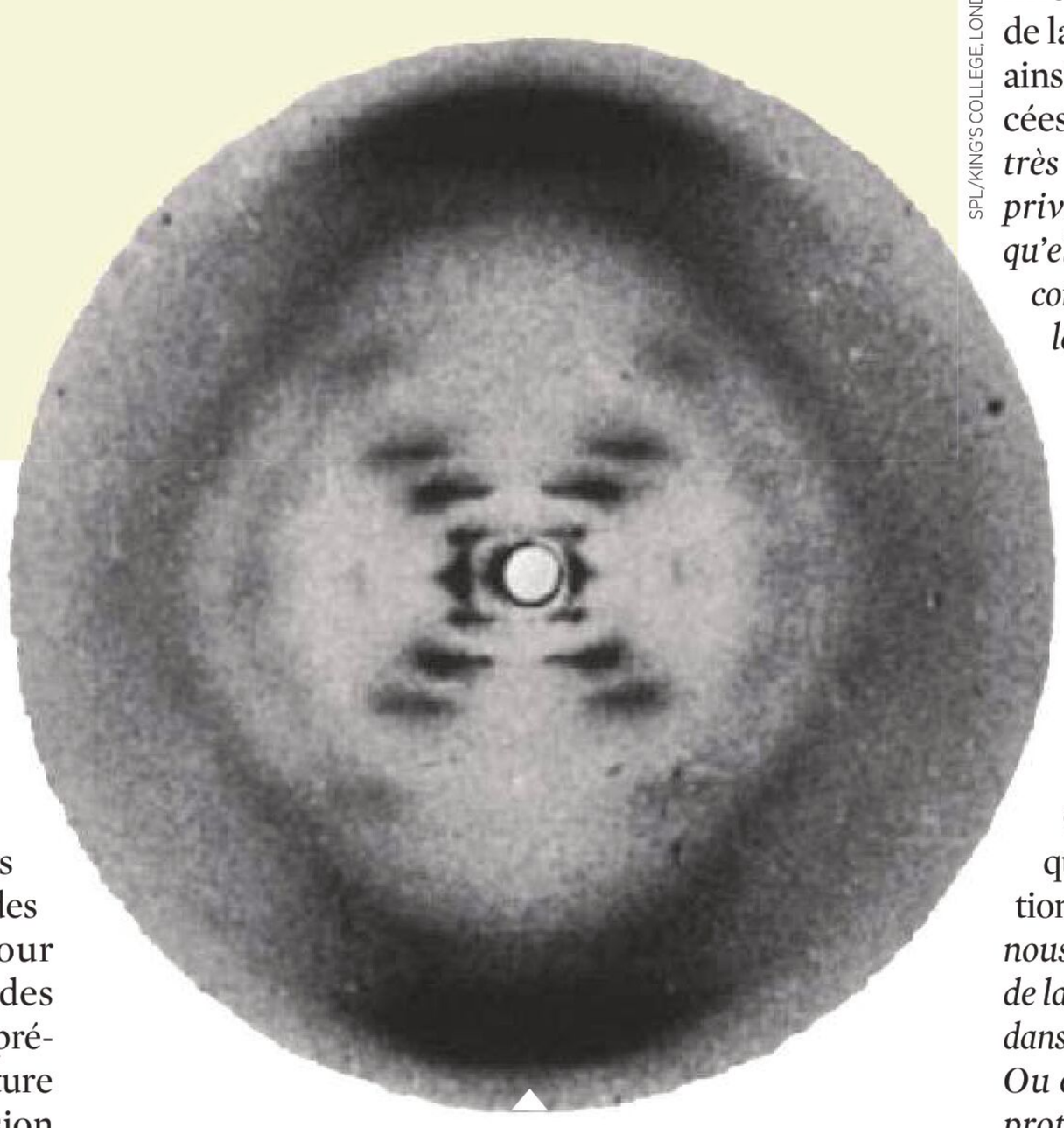
Un enjeu majeur pour la santé humaine

Comprendre et parvenir à prédire la forme finale d'une protéine représente donc un enjeu majeur, notamment en matière de santé humaine. Depuis 1994 et tous les deux ans, une compétition internationale oppose à cet effet une centaine d'équipes de chercheurs en protéomique du monde entier. Le jury de CASP (Critical Assesment of Protein Structure Prediction) soumet aux candidats des protéines sous leurs formes primaires, soit des chapelets d'amino-acides. Les structures 3D de ces protéines ont été déterminées expérimenta-

ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE

Les succès pionniers de la cristallographie aux rayons X

La cristallographie aux rayons X a longtemps été la méthode d'analyse de choix pour déduire la forme 3D des molécules. L'un des exemples le plus célèbre est le cliché 51. Cette image de stries noires formant un X majuscule aura permis d'élucider la structure de l'ADN et à James Watson, Francis Crick et Maurice Wilkins d'obtenir le prix Nobel de médecine en 1962. Pourtant, aucun des trois n'était l'auteur de ce cliché. Cette image a été prise en 1952 par la Britannique Rosalind Franklin. Brillante chercheuse, elle n'entretenait pas de bons rapports avec ses trois collègues. Subtilisé à l'insu de la scientifique, ce cliché permettra aux trois hommes de modéliser la structure tridimensionnelle de la nucléoprotéine. La contribution de Rosalind Franklin sera, elle, totalement occultée.



SPL/KING'S COLLEGE, LONDRES

Le cliché 51, obtenu au moyen de la cristallographie à rayons X par la chercheuse britannique Rosalin Franklin en 1952, montre pour la première fois la structure en double hélice de l'ADN.

lement par des méthodes classiques, longues et onéreuses, dont la cristallographie par rayons X *(lire l'encadré ci-dessus)* ou la microscopie électronique, mais n'ont pas encore fait l'objet de publications. Elles demeurent donc inconnues des compétiteurs. À charge pour ces derniers de soumettre des modèles s'approchant le plus précisément possible de la structure expérimentale. Cette précision s'exprime selon un pourcentage, le GDT (test global de distance). Plus le GDT est grand, plus la structure candidate est proche du modèle cristallographique.

Un score moyen de 92 % : du jamais vu!

Jusqu'à la treizième édition du concours en 2018, le GDT moyen des différents compétiteurs ne dépassait que difficilement 40 %. Mais, lors de sa première participation, AlphaFold a totalement affolé les compteurs : pour la première fois un score de 60 % était atteint. Deux ans plus tard, AlphaFold version 2 faisait encore plus fort, avec un score moyen de... 92 %. « *Ce qui signifie qu'entre les prédictions d'AlphaFold2 et les structures expérimentales, il y a moins de 1,6 ångström (10^{-10} m), soit moins que la taille d'un atome de différence* », précise Élodie Laine. La société DeepMind s'était déjà fait connaître avec AlphaGo, devenu en 2015 le premier programme capable de battre un joueur de go, et sacré sacré meilleur joueur du monde au classement international à peine un an plus tard. Le principe d'AlphaFold est d'intégrer l'ensemble des données de structure des protéines disponibles dans la Protein Data Bank et d'utiliser une intelligence artificielle qui simule comment les acides aminés interagissent. Ce qui réclame d'énormes moyens informatiques, hors de portée de la recherche publique, qui est ainsi incapable de suivre les avancées du secteur privé. « *Ce qui est très ironique car ces avancées du privé ne sont possibles que parce qu'elles s'appuient sur les avancées conceptuelles et technologiques de la recherche académique et par l'utilisation des masses de données apportées par la communauté scientifique* », regrette Élodie Laine.

Vers la conception de protéines artificielles

Dans ce contexte, Sergei Grudinin, directeur de recherche à Inria/CNRS de Grenoble, s'interroge sur ce que réservera la prochaine édition de CASP, en 2022 : « *Verrons-nous des progrès dans la prédiction de la dynamique des protéines ? Ou dans celle des complexes protéiques ? Ou encore dans la conception de protéines artificielles ?* » Ce dernier domaine pourrait réserver bien des surprises. Pourquoi pas des protéines capables d'auto-assemblage pour de la régénération tissulaire ou d'autres conçues spécifiquement pour désactiver celles impliquées dans des maladies ? L'agriculture pourrait aussi tirer profit de ces avancées avec de nouveaux insecticides, comme le secteur du textile avec des biomatériaux inédits. Deux décennies après le séquençage du génome humain, c'est un nouveau chapitre qui s'ouvre dans la connaissance du vivant. ■ **Hervé Ratel**

Des chercheurs ont communiqué avec des rêveurs

Les dormeurs sont parvenus à répondre dans leurs rêves à des instructions externes.

COMMUNIQUER AVEC DES PERSONNES en train de rêver, c'est possible ! C'est ce qu'annoncent quatre laboratoires dans la revue *Current Biology*. *« Jusqu'à présent, le rêve restait un état inaccessible, toute information à son sujet reposant sur un souvenir fugace, plus ou moins fiable et subjectif recueilli* a posteriori, *mais nous avons désormais un moyen plus direct de l'appréhender »*, détaille Delphine Oudiette qui a piloté la partie française de l'étude à l'Institut du cerveau (ICM), à Paris.

Des réponses en temps réel sans scénario préétabli

Les équipes américaine, allemande, néerlandaise et française ont recruté au total 36 rêveurs lucides, des personnes capables, spontanément ou par apprentissage, d'être conscientes de rêver lorsqu'elles le font, et parfois d'en contrôler le déroulé. *« Elles étaient comme des agents infiltrés sur un territoire inconnu qui gardaient la capacité de communiquer avec nous »*, note la chercheuse. Dès que ces rêveurs devenaient lucides dans leur sommeil, ce qu'ils signalaient par des mouvements horizontaux des yeux, une question leur était posée : *« Aimes-tu le chocolat ? »*, *« Combien font huit moins six ? »*, *« Sais-tu parler espagnol ? »* La réponse se faisait le plus souvent par un mouvement des yeux selon un code convenu au préalable avec les chercheurs.

« Ce protocole a été mis au point au début des années 1980 par le pionnier de l'exploration du rêve lucide, l'Américain Stephen LaBerge, le premier à avoir fait basculer l'étude des rêves dans le domaine scientifique », ajoute la neurologue. Au cours de ces expériences, la réponse n'a toutefois été clairement décelable que dans 21 % des événements. Elle était correcte dans 18 % des cas et fausse dans seulement 3 % des rêves. Malgré les 79 % de réponses mal ou pas décelables, cela démontre que le dialogue peut être établi au cours du sommeil.

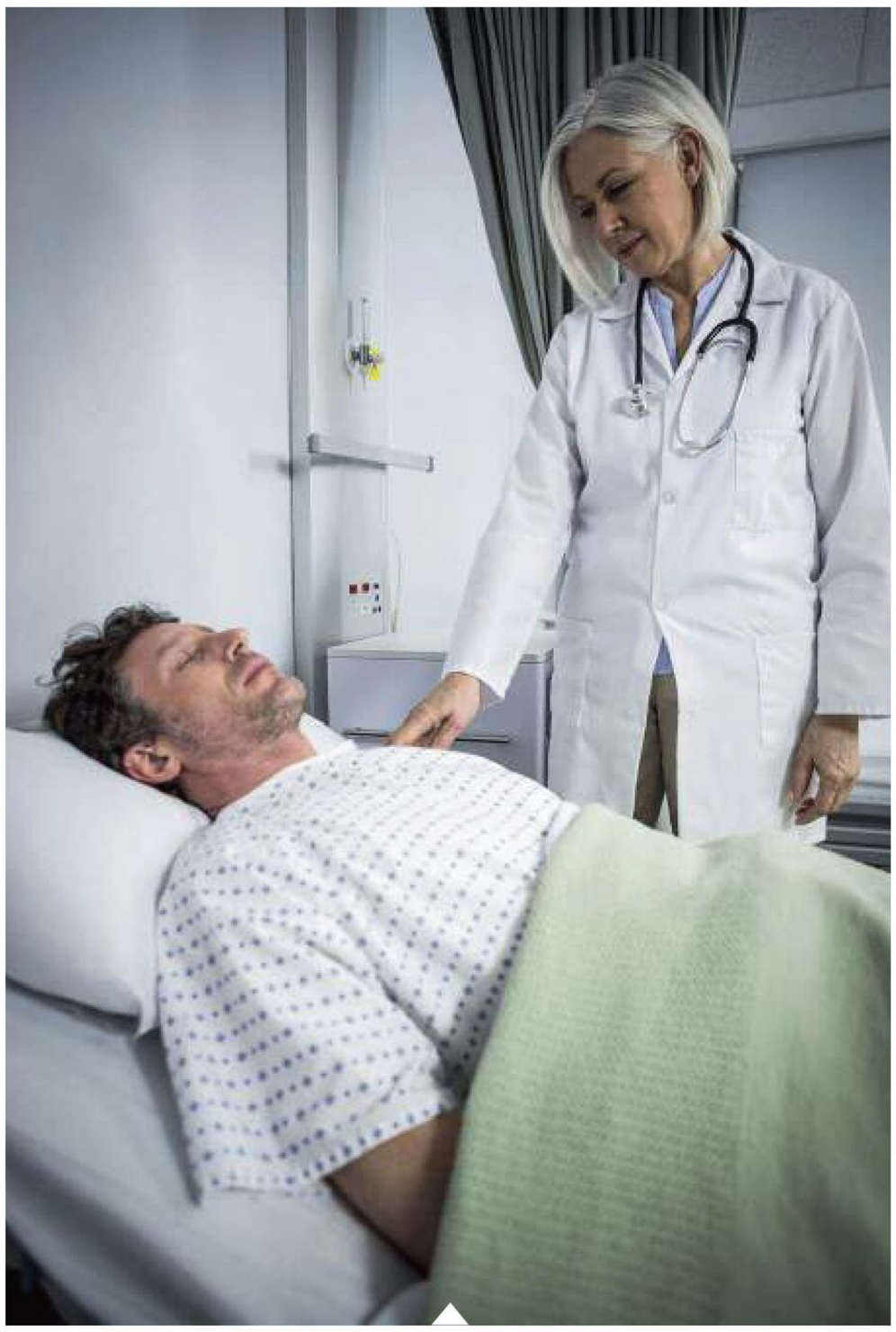


PHOTO12/ALAMY/WAVEBREAK MEDIA LTD

Certains dormeurs, conscients de rêver, parviennent à intégrer dans le contenu de leur songe des instructions qu'ils reçoivent d'un tiers et à y répondre (illustration).

Mieux comprendre le processus de la conscience

Les rêveurs se souvenaient généralement d'une demande extérieure faite inopinément au cours de leur songe. Jusqu'à présent, ils pouvaient faire des signaux (mouvement des yeux, arrêt de la respiration) mais dans le cadre d'un scénario préétabli. *« Ici, pour la première fois*, souligne Delphine Oudiette, *nous avons pu provoquer une réponse en temps réel à une question qu'ils ne connaissaient pas à l'avance. »* Dans cette approche, que les chercheurs ont baptisée « rêve interactif », certains dormeurs lucides sont non seulement conscients de rêver mais peuvent aussi agir oniriquement en fonction d'instructions externes. *« Ce type d'expérience nous offre un nouveau moyen d'explorer comment se manifeste la conscience dans l'état particulier du rêve »*, indique la chercheuse.

L'interprétation des rêves était selon le fondateur de la psychanalyse Sigmund Freud la voie royale menant à la connaissance de l'inconscient. Plus d'un siècle après, l'étude scientifique des rêves, grâce aux rêveurs lucides, pourrait bien fournir d'autres précieux renseignements sur le processus même de la conscience. ■

Pierre Kaldy

Covid-19 : vers la fin de la phase pandémique

Après l'été, le virus Sras-CoV-2 pourrait devenir endémique et saisonnier. À condition que la majorité de la population y ait été exposée par la vaccination ou l'infection.

« LES VACANCES D'ÉTÉ *ne seront pas complètement normales.* » Le 15 mars, le Premier ministre Jean Castex douchait déjà les espoirs d'un prochain été sans coronavirus. Pourtant, si l'on se projette un peu plus loin encore, alors oui, l'optimisme est permis. Comment la situation va-t-elle évoluer ? L'hypothèse la plus vraisemblable aujourd'hui est qu'après la phase pandémique, c'est-à-dire l'adaptation explosive du virus dans une population « naïve » au sens immunologique, le Sras-CoV-2 devienne endémique et saisonnier. Autrement dit, qu'il se banalise au fur et à mesure que la population s'immunise, que ce soit par la vaccination ou l'infection. C'est cette transition de la phase pandémique au stade endémique du virus qu'une équipe américaine a modélisé dans *Science* en se fondant sur les caractéristiques infectieuses et immunologiques des quatre « coronavirus du rhume » déjà endémiques et saisonniers. Ces derniers sont quasi inoffensifs, car *« l'infection naturelle dans l'enfance fournit une immunité qui protège plus tard contre les formes sévères, même si elle n'empêche pas la réinfection périodique »*, explique Jennie Lavine, auteure de l'étude. Selon le modèle, le Sras-CoV-2 devrait suivre la trajectoire de ses cousins pour faire du Covid-19 une maladie de la petite enfance bénigne dans l'immense majorité des cas. À quelle vitesse ? Cela dépendra du rythme auquel la population s'immunise.

LAURENT GRANDGUILLOT/REA

La vaccination en pharmacie, démarrée le 15 mars, doit permettre d'accélérer l'immunisation de la population.

Une analogie avec les autres pandémies connues

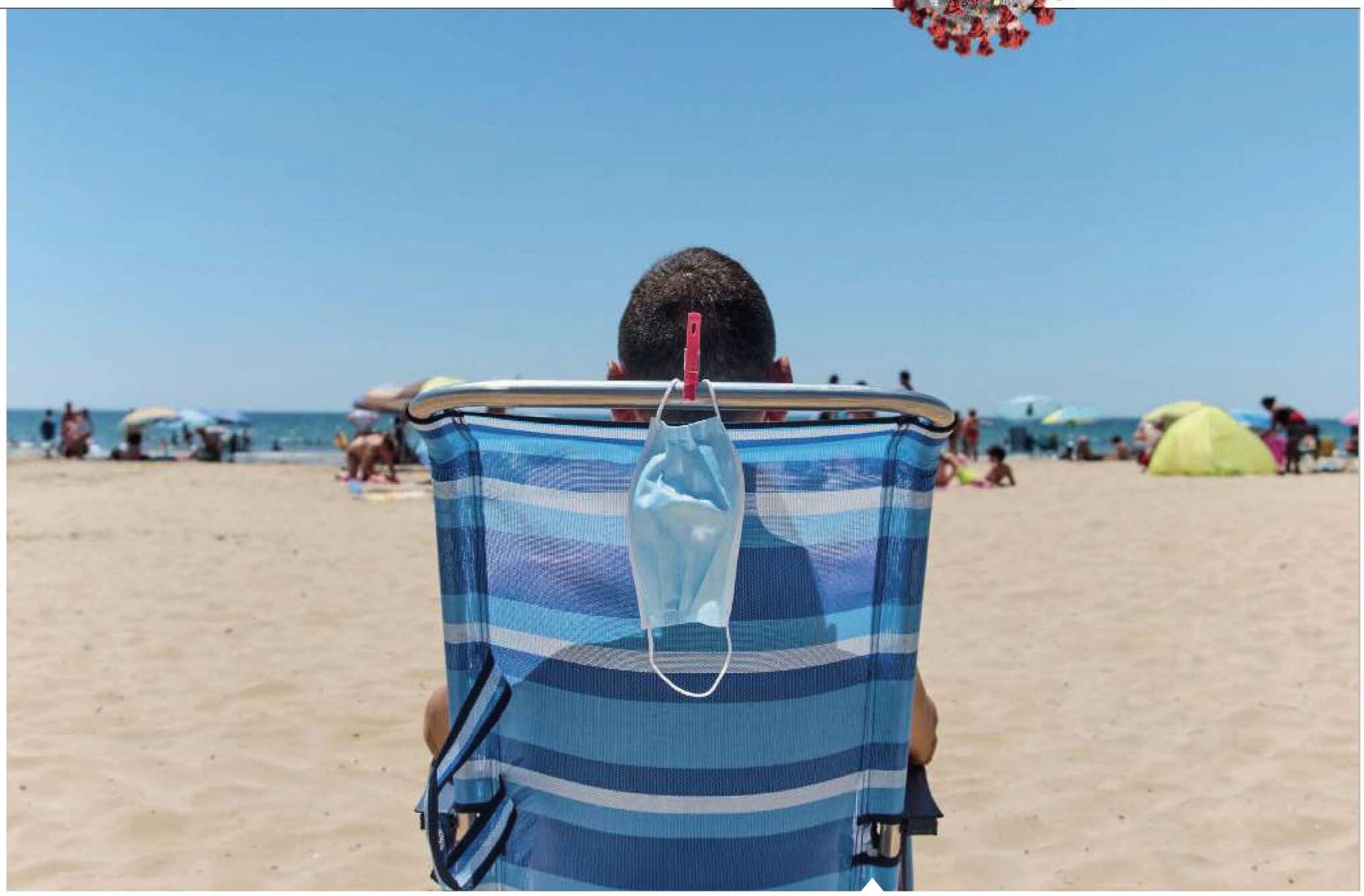
« Cette évolution est inexorable », confirme le Pr Bruno Lina, responsable du Centre national de référence des virus respiratoires à Lyon et membre du Conseil scientifique. *« Mais je n'ai pas de calendrier. Cela se produira-t-il dès l'hiver prochain ? C'est difficile de répondre. »* Le virologue se risque toutefois à l'analogie avec les autres pandémies connues, essentiellement de grippe. *« Celles dont l'impact significatif a pu être documenté [grippes espagnole de 1918, asiatique de 1957, ou de Hong Kong 1968] ont évolué en trois grandes vagues planétaires : la première est une vague de circulation, la deuxième de rappel, et la troisième celle d'une fin d'installation du virus, avant qu'il ne se banalise. »* Les coronavirus ont un potentiel pandémique au moins aussi important que les virus grippaux. *« Compte tenu de sa transmissibilité et de son taux de mortalité supérieurs, si le Sras-CoV-2 était arrivé en 1918 à la place de la grippe espagnole, il aurait fait bien plus de 40 millions de morts »*, imagine le chercheur.

Autre enseignement historique précieux : le scénario de la dernière pandémie de coronavirus. D'après les données génétiques,

COUVERTURE VACCINALE

Les États-Unis organisent la vie d'après

Les personnes vaccinées contre le Covid-19 peuvent se réunir en intérieur sans porter de masque et sans respecter la distanciation physique. C'est ce qu'ont annoncé les autorités sanitaires américaines le 8 mars, alors que près d'un tiers de la population est déjà vacciné aux États-Unis. Elles peuvent même se réunir sans masque avec des non-vaccinées d'un seul autre foyer à la fois, si celles-ci ne présentent pas de facteurs de risque. Les grands-parents peuvent ainsi retrouver les membres de leur famille même si ces derniers ne sont pas encore vaccinés. Dans les autres situations, les gestes barrières doivent être maintenus en raison du *« petit risque que les personnes vaccinées puissent parfois être infectées par des formes légères et donc potentiellement contagieuses »*, selon Rochelle Walensky, la directrice des Centres américains de prévention et de lutte contre les maladies (CDC). Mais la vie d'après se précise peu à peu.



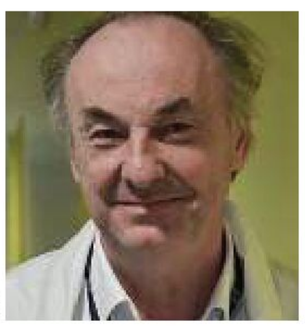
GETTY IMAGES - PHANIE

L'été, avec ses conditions climatiques favorables, devrait faire reculer la circulation du Sras-Cov-2.

elle remonterait à 1889-1890. Soit au moment même de la pandémie dite de grippe russe de 1890... dont l'agent pathogène responsable n'a jamais été identifié. « *Si on admet l'hypothèse que le phénomène pandémique de 1890 était dû au coronavirus OC43, on peut avoir une idée de ce que deviendra le Sras-CoV-2* », poursuit Bruno Lina : une cause de rhume, voire d'infections asymptomatiques, régulières, mais bénignes. À condition bien sûr que tout le monde ait été exposé une première fois par la vaccination ou l'infection.

Et la multiplication des variants qui ont focalisé les inquiétudes ces derniers mois, en particulier le « britannique » B.1.1.7, plus contagieux et 64 % plus mortel, ne devrait pas nuire au scénario. « *C'est très intéressant de voir que partout sur la planète, à peu près en même temps, sont apparus de nombreux variants (plus d'une quinzaine) possédant presque tous quatre ou cinq mutations communes*, relève Bruno Lina. *Cela suggère des positions de susceptibilité évolutive du virus finalement peu nombreuses.* » Si bien que, si nous avons l'impression d'être assaillis de variants, « *nous sommes peut-être dans une période où le potentiel évolutif du virus entre dans une sorte de goulet d'étranglement qui fait qu'il n'a plus trop de solutions pour évoluer. L'hypothèse que l'on fait, à la lumière de ce qu'on voit sur les coronavirus communs qui sont stables et n'évoluent plus depuis longtemps, c'est que la troisième vague du printemps est possiblement la dernière phase d'évolution du Sras-CoV-2 signant la fin de son adaptation à son nouvel hôte.* »

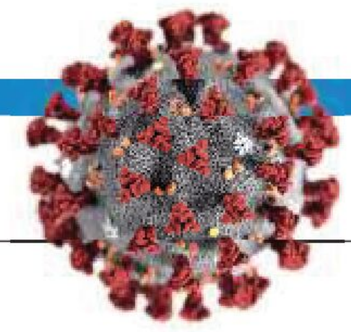
À la lumière des études menées à partir des campagnes de vaccinations massives, que ce soit en Israël, au Royaume-Uni ou aux États-Unis, les variants ne devraient pas empêcher l'objectif principal de la vaccination : faire disparaître les formes sévères de Covid-19 et soulager enfin les systèmes de santé. En effet, si les variants « sud-africain » et « brésilien », notamment, abaissent le niveau de protection vis-à-vis de l'infection en échappant en partie aux anticorps, ils restent très sensibles à l'immunité cellulaire induite par les vaccins ou une infection avec la souche initiale du virus. Or c'est justement cette réponse cellulaire qui permet d'éviter les formes graves. ▶



AFP

« La troisième vague du printemps est possiblement la dernière phase d'évolution du virus »

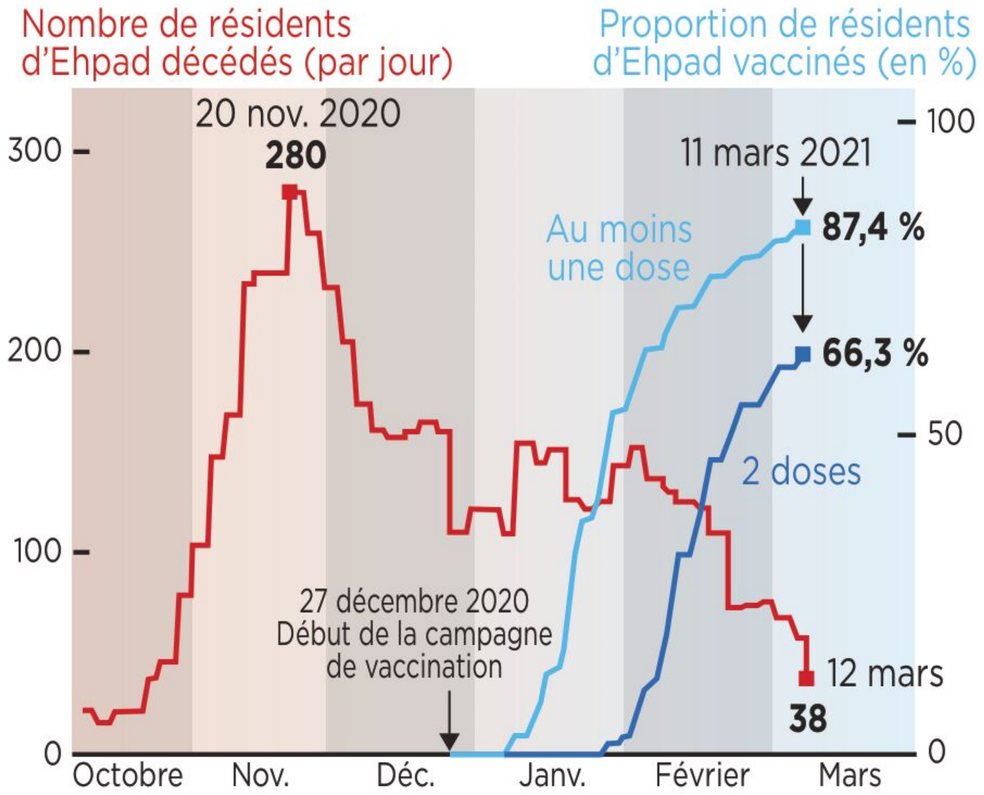
Bruno Lina, responsable du Centre national de référence des virus respiratoires à Lyon et membre du conseil scientifique



En outre, les études en vie réelle en Israël ou en Écosse ont montré une capacité du vaccin Pfizer à empêcher la transmission du virus comprise entre 75 % à 90 %. D'ores et déjà, il semble se dessiner un début d'effet de la vaccination sur la mortalité dans les Ehpad et les hospitalisations chez les plus de 80 ans *(voir l'infographie ci-contre)*.

La condition *sine qua none* pour mettre fin à la phase pandémique du virus en France est donc de tenir les objectifs de vaccination : 20 millions de personnes d'ici au 15 mai selon le gouvernement, 30 millions au début de l'été, et donc au moins 50 % de personnes vaccinées à la fin de l'été. Des objectifs crédibles en dépit de la suspension et des problèmes d'approvisionnement du produit d'AstraZeneca. En effet, la France recevra en avril plus de doses en un mois qu'entre janvier et fin mars (près de 15 millions de doses). Outre un quatrième vaccin autorisé (Johnson & Johnson) depuis mars, le laboratoire Pfizer, qui fournit 500 000 doses tous les mardis depuis janvier, devrait en livrer 10 millions d'un coup le 5 avril. De quoi accélérer la campagne. Dans ce contexte, à quel point l'été 2021 ne sera pas « normal » ? La tendance du coronavirus à la saisonnalité ne fait plus de doute et, outre le nombre croissant de personnes immunisées, les conditions climatiques devraient être favorables. « *Si nous avons des niveaux de circulation aussi bas qu'ils l'étaient l'année dernière à la sortie du confinement, l'été se passera très bien. En revanche, s'ils sont très hauts en mai et juin, la situation pourrait être différente*, alerte Bruno Lina. *La dynamique estivale dépendra du bruit de fond qui existera lorsqu'on décidera qu'on peut recommencer à sortir, aller au restaurant, voire chanter tous ensemble sans mettre de masque.* » Quoi qu'il en soit, si plus de 60 % de la population est vaccinée d'ici à l'automne, soit 40 millions de personnes, la pandémie de Covid-19 aura définitivement pris du plomb dans l'aile. ■

Hugo Jalinière @hugojaliniere



BRUNO BOURGEOIS - SOURCE : SANTÉ PUBLIQUE FRANCE

Une nette corrélation existe entre le pourcentage de résidents en Ehpad vaccinés et le nombre de décès constatés dans ces établissements.

DERNIÈRES NOUVELLES

ANGELIKA WARMUTH/DPA/ AFP

La concentration de pollens dans l'air favoriserait l'infection au Sras-Cov-2 en réduisant la réponse immunitaire.

Le pollen associé à des pics épidémiques

Les pics de pollen dans l'air pourraient entraîner un nombre plus important de contaminations de Covid-19 selon une étude qui a observé une corrélation sur 130 sites dans 31 pays. Le pollen, parfois en synergie avec l'humidité et la température, expliquerait en moyenne 44 % de la variabilité du taux d'infection. L'hypothèse des chercheurs est que son contact réduirait la réponse immunitaire, facilitant ainsi l'entrée du virus.

SOURCE : ATHANASIOS DAMIALIS, UNIVERSITÉ DE MUNICH, ALLEMAGNE, PNAS

Les contaminations en extérieur sont rares

Une méta-analyse américaine estime à moins de 10 % le nombre de contaminations par le Sras-CoV-2 survenues en extérieur. Dehors, les gouttelettes et les aérosols chargés de virus se diluent rapidement dans l'air ambiant, au lieu de s'accumuler comme dans une pièce fermée. Mais la prudence reste de mise : car même en extérieur, des rassemblements de forte densité, sans masque, avec des cris et ou des chants constituent des situations à risque.

SOURCE : TOMASO BULFONE, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE À SAN FRANCISCO/BERKELEY, ÉTATS-UNIS, THE JOURNAL OF INFECTIOUS DISEASE

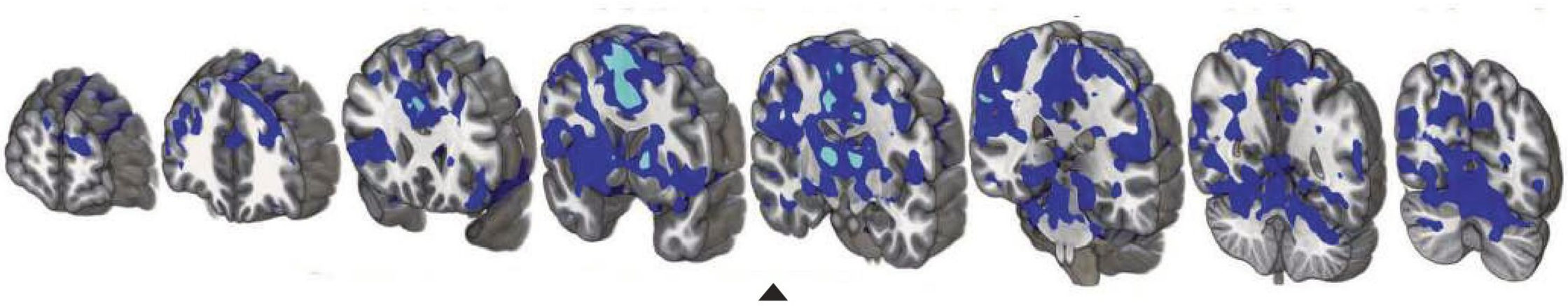
Le groupe sanguin A est un peu plus à risque

Le virus du Covid-19 présente un tropisme pour les cellules respiratoires des personnes du groupe sanguin A selon une étude américaine. Au contraire de celles de groupe O moins sévèrement touchées. Lors de leurs expériences *in vitro*, les chercheurs se sont en effet aperçus que le Sras-CoV-2 avait une affinité particulière pour les cellules respiratoires présentant à leur surface les molécules spécifiques du groupe sanguin A, favorisant ainsi l'infection. Un effet qui serait toutefois marginal sur le risque d'infection ou de formes sévères de la maladie.

SOURCE : SHANG-CHUEN WU, BRIGHAM AND WOMEN'S HOSPITAL, HARVARD MEDICAL SCHOOL, ÉTATS-UNIS.

L'effet placebo joue sur tout le cerveau

Les larges zones cérébrales sur lesquelles agit le placebo viennent d'être mises en évidence par une méta-étude.



L'activité cérébrale se réduit dans les zones (en bleu foncé) impliquées dans la gestion de la douleur.

POUR CE QUI EST DE SON EXISTENCE, l'effet placebo fait consensus : en moyenne, selon les études, un tiers des sujets ressentent l'effet bénéfique d'un traitement, indépendamment de son efficacité réelle. L'effet placebo atteint même les 70 % dans certaines études sur la dépression, se révélant ainsi aussi efficace que certains médicaments prescrits contre cette maladie ! Mais la façon dont il se manifeste dans le cerveau fait débat parmi les chercheurs, les résultats des travaux pour localiser ce mécanisme dans nos réseaux neuronaux étant contradictoires. La faute à des études n'incluant que peu de participants et focalisées sur une région cérébrale en particulier.

Il affecte les zones de la douleur

Aussi, pour avoir une vision plus globale, des chercheurs allemands de l'hôpital universitaire d'Essen et américains du Dartmouth College ont repris et analysé la majorité des recherches en neuro-imagerie menées jusqu'à présent sur la question. Et ils ont ainsi apporté la première preuve que les régions impliquées dans la douleur peuvent être modifiées par effet placebo. Mais leur étude souligne aussi la grande hétérogénéité des résultats, notamment pour le cortex préfrontal. De nombreuses études ont démontré que les placebos activent cette région

La libération de molécules analgésiques se produit de façon très différente selon les individus

du cerveau, ce qui conduit à la libération de molécules analgésiques (des opioïdes) capables de réduire la douleur. Mais il apparaît que cela se produit de façon très différente selon les individus, si bien qu'il n'existe pas de zone préférentielle systématiquement activée.
Par ailleurs, forts de leurs larges échantillons (603 patients en cumulant les 20 études), les chercheurs ont pu montrer que d'autres structures cérébrales sont également impliquées, en particulier le thalamus et les ganglions de base, un réseau profond de structures interconnectées. Le premier sert notamment au transfert des sons et images vers le cortex cérébral. Les résultats ont montré que les zones du thalamus importantes pour ressentir la douleur sont celles qui sont justement le plus affectées par le placebo.
Quant aux ganglions de base, ils sont impliqués entre autres dans la motivation, la prise de décision et la gestion de la douleur. Eux aussi subissent une baisse de leur activité après administration d'un placebo. *« Nos résultats s'inscrivent dans la recherche et le développement de biomarqueurs cérébraux capables de prédire les réponses d'un individu à un placebo*, explique la Pr Ulrike Bingel, du service de neurologie de l'hôpital universitaire Essen (Allemagne). *Ils serviront également à distinguer ce qui est placebo de ce qui est une véritable réponse à un analgésique.* » ■ **Hervé Ratel**

MATTHIAS ZUNHAMMER ET AL. / TOR WAGER DARTMOUTH COLLEGE,

Une alimentation équilibrée et régulière, riche en légumes, fruits et fibres, permet de prévenir certains désordres gastro-intestinaux telle la constipation.

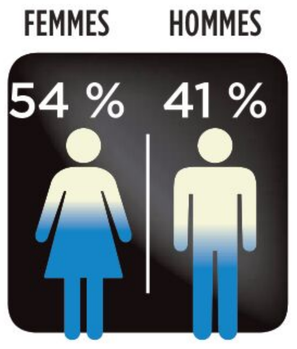
Cinq questions pour comprendre les troubles digestifs

Douleurs abdominales, ballonnements, ralentissement du transit... Ces désagréments digestifs affectent la qualité de vie. Ils ne doivent jamais être pris à la légère, même s'ils peuvent survenir en dehors de toute pathologie.

1 Quelles peuvent être les causes des « remontées acides » ?

Derrière cette désagréable sensation, un problème physique : le reflux gastro-œsophagien (RGO), ou la remontée d'une partie du contenu de l'estomac dans l'œsophage. En raison de son acidité, cela peut provoquer douleurs et inconfort, voire une toux chronique et une inflammation locale. Environ 20 % des adultes ont des symptômes occasionnels de RGO, et 10 % en souffrent quotidiennement, selon l'Assurance maladie. En cause : une anatomie particulière de la jonction œsophage-estomac, certains médicaments comme l'aspirine et l'ibuprofène, la grossesse, le surpoids, le stress, la consommation de tabac, d'alcool, des menus trop riches... Pour diminuer les symptômes, mieux vaut fragmenter les repas, éviter les aliments trop gras ou épicés, ne pas se coucher dans les trois heures qui suivent un déjeuner ou un dîner, ou alors surélever la tête, réduire les facteurs de risque évoqués (la consommation de tabac et d'alcool, le surpoids). Un traitement en automédication de type antiacide peut être envisagé de façon temporaire, mais si les symptômes perdurent au-delà de deux à trois jours, mieux vaut consulter son médecin.

48 %
de la population française se disent concernés par au moins un trouble digestif



TROUBLES LE PLUS SOUVENT DÉCLARÉS

Douleurs abdominales

Gaz fréquents

46 %
des personnes concernées ne font rien pour remédier à la situation.

SOURCE : SONDAGE IFOP POUR PILEJE, 2017.

2 Comment distinguer gastro-entérite et intoxication alimentaire ?

Au sens large, une gastro-entérite désigne une inflammation du système digestif, en général de l'intestin grêle. Elle se manifeste par des diarrhées ou vomissements, des douleurs abdominales et une fièvre modérée. Cependant, on distingue la gastro-entérite virale, extrêmement contagieuse, due dans la grande majorité des cas à un virus qui se transmet par contact avec des objets souillés ou une simple poignée de main (elle-même après contact avec un objet souillé). Les symptômes apparaissent 24 à 48 heures après la contamination. Alors qu'une intoxication alimentaire survient par ingestion d'un aliment contaminé par une bactérie le plus souvent. Les premiers signes apparaissent dans les heures qui suivent. D'autres éléments peuvent être évocateurs d'une intoxication alimentaire : la présence de sang dans les selles et, bien sûr, le fait qu'une autre personne ayant consommé le même repas présente des symptômes similaires.

Dans tous les cas, il convient de se reposer, boire beaucoup d'eau et manger de petites portions de féculents et légumes cuits. Si les symptômes persistent au-delà de deux à trois jours ou sont accompagnés de signes non digestifs (vertiges, maux de tête...) ou bien d'une fièvre supérieure à 39 °C, mieux vaut consulter rapidement un médecin.

Par Émilie Gillet, avec Agence Forum News

K. MIKHRIN/DEEPOL/PLAINPICTURE

Brûlures d'estomac : comment les neutraliser

L'acidité de l'estomac est essentielle : elle aide à digérer les aliments et protège l'organisme des bactéries qui pénètrent par la bouche. Les parois de l'estomac sont conçues pour résister à cette acidité notamment grâce au mucus qui les recouvre.

1 personne sur 10 se plaint de brûlures d'estomac*

Les brûlures d'estomac sont dues à la remontée du contenu acide de l'estomac dans l'œsophage, dont les parois sont dépourvues de mucus protecteur.

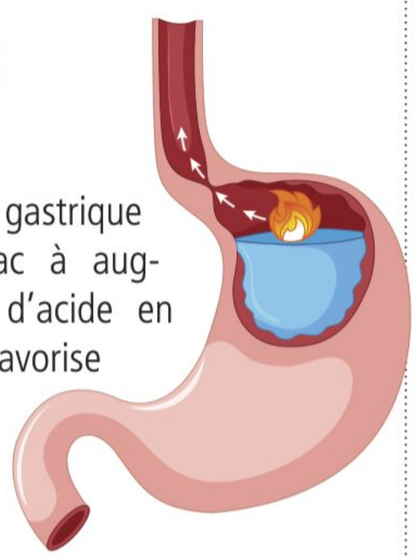
**Enquête Société Nationale Française de Gastro-Entérologie, 2018*

À consommer avec modération

Les repas copieux favorisent également la remontée du contenu gastrique, surtout s'ils sont riches en matières grasses.

Effet rebond : pas bon !

Neutraliser l'acidité gastrique peut conduire l'estomac à augmenter sa production d'acide en compensation, ce qui favorise la réapparition de brûlures d'estomac.
C'est «l'effet rebond».



Un soulagement naturel

Les brûlures d'estomac, extrêmement désagréables, peuvent être soulagées rapidement et naturellement.

PROTECTION
La Pectine de fruits forme une mousse à la surface de l'estomac lorsqu'elle entre en contact avec l'acide. Lors des remontées acides, cette mousse agit comme une barrière protectrice en limitant le contact entre les parois de l'œsophage et l'acide. La production d'acide reste normale sous la mousse, favorisant une digestion normale et garantissant l'absence de troubles digestifs et d'effet rebond.

RÉGULATION
La Vitamine B3 contribue au bon fonctionnement des muqueuses et notamment de la muqueuse digestive en contribuant à réguler le pH gastrique. Réguler la production d'acide sans la neutraliser garantit l'absence d'effet rebond.

DIGESTION
La Dolomite est une roche sédimentaire naturellement riche en Calcium et Magnésium. Le Calcium contribue au bon fonctionnement des enzymes digestives, favorisant une digestion efficace des aliments. L'estomac se vide ainsi plus rapidement, et le risque de remontée acide diminue. Le Pissenlit favorise également la digestion et la vidange gastrique, limitant naturellement le risque de remontée acide, notamment à la suite d'un repas riche.

La solution nordique aux brûlures d'estomac

Développé il y a plus de 25 ans au Danemark par les laboratoires de recherche végétale New Nordic, **Gastro Gel** est un petit comprimé à croquer qui apporte un soulagement rapide et 100% naturel.

Il contient de la Pectine d'agrumes qui forme une barrière de mousse protectrice dans l'estomac, limitant le contact du contenu gastrique acide avec les parois de l'œsophage, pour un effet immédiat. Ses actifs naturels (Pissenlit, Dolomite, Vitamine B3) régulent également l'acidité de l'estomac et facilitent la digestion.

Gastro Gel ne mousse pas dans la bouche et a un bon goût de menthe.

Une question d'équilibre

Ballonnements, gonflements, démangeaisons, langue chargée, fatigue... Le développement d'une flore intestinale indésirable peut être aussi inconfortable que gênant, d'autant que l'état des flores intestinale, génitale, buccale… est directement lié. Ainsi le déséquilibre de l'une peut facilement entraîner celui des autres. Heureusement, rééquilibrer la flore intestinale aide aussi à rééquilibrer l'ensemble de l'organisme ! Les laboratoires de recherche végétale New Nordic ont développé les comprimés naturels DIDA, riches en extraits végétaux concentrés (cannelle de Ceylan, menthe, giroflier, cardamome) qui limitent la prolifération des mauvaises bactéries et renforcent les défenses intestinales, pour un soulagement durable et un ventre plat !

Disponible en pharmacie et espace diététique

Questions ? Les experts New Nordic vous répondent au 01 85 49 34 86 (tarif local) ou sur **www.vitalco.com**

Gastro Gel flacon de 30 cp et pot de 60 cp disponibles sous les codes ACL 514 35 20 et 514 35 37.

Gastro Gel existe aussi en version Femme enceinte : **Gastro Gel Femme enceinte** flacon de 30 cp code ACL 601 68 00.

Dida 60 cp est disponible sous le code ACL 481 85 37.

AVIS D'EXPERT

PR BRUNO BONAZ
GASTRO-ENTÉROLOGUE AU CHU DE GRENOBLE ET CHERCHEUR À L'INSTITUT DES NEUROSCIENCES DE GRENOBLE

« Stress et digestion sont intimement liés chez certaines personnes »

Comment expliquer que le stress a des conséquences sur notre système digestif?
Le système digestif présente des récepteurs aux molécules impliquées dans les phénomènes de stress. Il est par ailleurs sous l'influence du système nerveux autonome [qui régule certaines fonctions de notre organisme en dehors de notre contrôle volontaire], qui réagit lorsque des mécanismes de stress s'enclenchent. Concrètement, un stress aigu inhibe la vidange de l'estomac, ce qui provoque nausées et vomissements, et ralentit la motricité de l'intestin grêle. À l'inverse, il accélère le transit du côlon et stimule la sécrétion colique favorisant une diarrhée.

B. BONAZ

Quels sont les risques en cas de stress chronique?
À long terme, on peut observer des troubles chroniques du transit, ralentissement ou accélération. Il y a aussi les douleurs abdominales fréquentes car le stress abaisse le seuil de sensibilité viscérale. Et plus globalement, l'installation d'une colopathie fonctionnelle est à craindre *(lire ci-contre)*. Mais ces conséquences sont différentes d'un individu à l'autre, en fonction notamment de la sensibilité personnelle et des stratégies de *coping* [de l'anglais *to cope with*, faire face], c'est-à-dire des mesures d'ajustement adoptées.

Quelles sont ces mesures?
En premier lieu, il faut adapter l'alimentation pour ne pas trop solliciter un système digestif hypersensible, en réduisant notamment les apports en matières grasses, en matières fermentées et en « Fodmaps » : ces glucides difficiles à digérer sont présents par exemple dans les choux, les poireaux, les pommes, les poires, le blé et les produits laitiers. Et d'autre part essayer d'apprendre à gérer son stress par des activités telles que la sophrologie, la méditation, la relaxation, l'hypnose, l'activité physique... ■ **Propos recueillis par É. G.**

3 Que faire en cas de constipation ?

D'une personne à l'autre, la fréquence normale des selles peut varier de trois selles par jour à trois par semaine, notamment selon la composition des repas ou la modification des habitudes de vie (voyage, stress, immobilisation, etc.). Médicalement, on considère qu'il y a constipation en deçà de trois selles sur une semaine, associées à une difficulté pour les évacuer ou une sensation d'expulsion incomplète. On parle de constipation chronique lorsque les symptômes persistent plus de 6 mois. Cependant, même dans ce cas, de simples mesures diététiques et d'hygiène de vie peuvent y remédier. Il s'agit principalement de rééquilibrer son alimentation, avec un apport plus important en fibres (fruits et légumes, céréales complètes), une hydratation suffisante (1,5 litre par jour) et la pratique régulière d'une activité physique.
Il faut savoir qu'une constipation passagère peut aussi survenir lors des règles, d'une grossesse ou de la ménopause, de la prise de certains médicaments (antidouleurs, antidépresseurs ou traitements contre l'acidité gastrique), ou parce que l'on a tendance à se retenir d'aller à la selle (notamment les enfants à l'école). Quant aux laxatifs, leur utilisation doit rester exceptionnelle et ne remplace pas une bonne hygiène de vie.

4 Quels sont les symptômes de la crise hémorroïdaire ?

Les hémorroïdes sont une dilatation des vaisseaux sanguins présents, à l'état normal, en superficie du canal anal. Lorsque ces hémorroïdes sont gonflées ou irritées, et forment ce que l'on appelle un prolapsus (elles ressortent à l'extérieur de l'anus), on parle de crises ou de maladie hémorroïdales. Elles s'accompagnent en général de douleurs importantes et de saignements, et sont favorisées par la constipation, un épisode de diarrhée, le surpoids et la sédentarité. Chez la femme, les règles, la grossesse, l'accouchement et la période *post-partum* sont plus à risques. La plupart des crises hémorroïdaires se résolvent d'elles-mêmes après deux ou trois jours. Mais en cas de récidive ou de maladie persistante, mieux vaut en parler avec son médecin, envisager des mesures hygiéno-diététiques et éventuellement un traitement.

5 Syndrome du côlon irritable, de quoi parle-t-on ?

Aussi appelé « colopathie fonctionnelle », c'est un trouble du fonctionnement de l'intestin sans gravité ni conséquence pathologique particulière, mais qui altère de façon importante la qualité de vie. Environ 5 % de la population adulte serait touchée, avec deux fois plus de femmes que d'hommes. Ce syndrome associe des douleurs abdominales chroniques et des troubles du transit (diarrhée, constipation ou alternance des deux). Les mécanismes sont encore mal compris, mais on observe souvent des troubles de la motricité intestinale, un abaissement du seuil de tolérance à la douleur viscérale et des anomalies du microbiote intestinal. La fatigue et certains facteurs psychologiques peuvent amplifier les symptômes.
Pour les atténuer, il est recommandé de limiter le stress, pratiquer une activité physique régulière, prendre ses repas à heures fixes en mangeant lentement et dans le calme. La suppression de certains aliments *(lire l'interview ci-contre)* susceptibles d'amplifier les symptômes peut être envisagée ; mais il faut pour cela être guidé par un médecin ou un nutritionniste. ■

Solgardez-vous bien !

Le flacon d'or Solgar contient de l'**Ester-C®**, une forme de vitamine C hautement assimilable et non acide. Disponible en 500 ou 1 000 mg.

La vitamine C est essentielle pour le système immunitaire et pour réduire la fatigue.

SOLGAR
Since 1947

Pour votre santé, mangez au moins cinq fruits et légumes par jour. www.mangerbouger.fr

Solgar.fr

La beauté vient-elle en mangeant ?

Les aliments estampillés « cosmetofood » promettent jeunesse et beauté. Si ces allégations relèvent du marketing, certains conseils nutritionnels ne sont pas à négliger.

« MANGE DES CAROTTES, ça donne bonne mine ! » Nos grands-parents le disaient déjà : la beauté vient en mangeant. À en croire cet adage, certains aliments auraient à eux seuls des effets visibles sur la jeunesse de notre épiderme. Dans l'industrie agroalimentaire, cette promesse porte même un nom : la cosmetofood (de cosmétique et food, aliment). Au Japon, leader incontesté du secteur, les produits alimentaires à visée cosmétique y sont nombreux : guimauves au collagène pour *« des lèvres pulpeuses »* et une peau *« tendue »* (Eiwa) ou bonbons déodorants (Kanebo Cosmetics). Aux États-Unis, les « fêtes au collagène buvable » (*drinkable collagen parties*) sont devenues impératives chez ceux que l'on nomme les « accros à la beauté » (*beauty addicts*). En Belgique, ce sont les tablettes Young et Eternity (NewTree) qui promettent de repousser les limites de l'âge. En France, le concept, introduit voilà plus de dix ans, peine encore à décoller. Le yaourt Essensis (Danone) garantissant *« une peau plus saine donc plus belle »*, lancé à grand renfort de publicité en 2007, a été retiré des rayons moins de deux ans plus tard. Manque d'efficacité ou prudence des consommateurs ? Sans doute les deux, tant ces promesses reposent essentiellement sur le marketing.

110 mg
par jour

L'apport conseillé en vitamine C pour un adulte par jour. Celui-ci est de 12 mg/jour pour la vitamine E et de 750 µg/jour pour la vitamine A.
(SOURCE : ANSES.)

Des antioxydants pour retarder les effets du vieillissement ?

Vanter les effets bénéfiques des antioxydants pour protéger les cellules des effets du temps. Voilà la promesse du lait « Jour après jour, partenaire jeunesse » de Lactel qui mise sur un trio composé de sélénium, de zinc et de vitamine E. Or un avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation (Anses) juge injustifiée l'allégation *« apporte du sélénium qui, en synergie avec le zinc et la vitamine E, contribue à éliminer les radicaux libres des cellules et ainsi à limiter leur vieillissement prématuré »* (1). De son côté, la marque Pepsico a choisi d'ajouter

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

ANTIOXYDANTS Composés des végétaux préservant les cellules du stress oxydatif. Parmi eux, le bêta-carotène (provitamine A), l'acide ascorbique (vitamine C), le tocophérol (vitamine E), les polyphénols, les flavonoïdes, les tanins, etc.

RADICAUX LIBRES Ils nettoient l'organisme des cellules endommagées mais, en trop grand nombre, ils peuvent favoriser leur oxydation et ainsi accélérer leur vieillissement.

CAROTÉNOÏDES Pigments orange et jaunes répandus chez de très nombreux organismes vivants. Les principaux sont l'astaxanthine, le lycopène, le bêta-carotène, la lutéine et la zéaxanthine.

de la vitamine C à son jus de fruit « Tropicana Essentiel antioxydant » : un verre de 200 ml en apporte 64 mg. Soit à peine plus que sa gamme de jus classique qui affiche 58 mg pour 200 ml de jus d'orange avec pulpe. À titre de comparaison, deux kiwis frais permettent de couvrir la totalité des besoins journaliers en vitamine C.

Le collagène, faux élixir de jeunesse

Le néerlandais Collalift propose un complément alimentaire à base de cette protéine naturelle à mélanger à sa boisson favorite pour bénéficier *« sans douleur des effets du Botox sur sa peau »*. Le collagène est en effet l'un des composants majeurs de nombreux tissus (peau, tendons, tissu osseux...) dont il assure la cohésion, l'élasticité et la régénération. La peau humaine en fabrique naturellement tout au long de la vie mais cette production diminue au fil du temps. Las ! les produits à base de collagène n'ont pas démontré scientifiquement leur efficacité. *« Le collagène est peu digestible de par sa structure très complexe. En boire ne sert donc à rien »*, affirme le Pr Luc Cynober, chef de service de biochimie à l'hôpital Cochin *(lire aussi l'encadré ci-dessous)*.

L'aloe vera réduirait la glycémie...

Plante utilisée depuis des millénaires pour ses vertus supposées apaisantes et hydratantes, l'aloe vera inspire les industriels qui prétendent soigner tout en douceur notre beauté de l'intérieur. Sa sève gélifiée s'impose ainsi dans les yaourts de la marque américaine Alove et dans le yaourt à boire B de Yoplait, lequel en contient 5 %. Mais aucune étude scientifique n'a confirmé ses effets sur la fatigue et le vieillissement ainsi que sur le microbiote intestinal *(lire aussi p. 28)*. Toutefois, selon une méta-analyse, la consommation du jus d'aloe vera pourrait être intéressante pour les diabétiques en réduisant la glycémie à jeun et le taux d'hémoglobine glyquée (2).

... mais une partie de ses feuilles serait cancérogène

De multiples vidéos circulent sur Internet, indiquant comment préparer soi-même une boisson à base d'aloe vera. Or, l'Anses met en garde contre la consommation de ses feuilles fraîches car leur partie externe sécrète un liquide de couleur jaune (latex), riche en dérivés hydroxyanthracéniques (DHA) : ces molécules ont des effets laxatifs très puissants et seraient susceptibles d'être cancérogènes. Il est ainsi recommandé d'éliminer la partie externe pour ne consommer que le gel situé au centre de la feuille (3).

Privilégier une alimentation colorée

Inutile de se tourner vers des produits marketing pour entretenir la jeunesse de sa peau. Une alimentation équilibrée et diversifiée suffit. *« S'il n'y a pas d'aliment miracle pour protéger sa peau, certains composants naturels sont plutôt bénéfiques, tels que les caroténoïdes, présents dans les fruits et légumes colorés (carottes, abricots, melon) »*, explique Caroline Gérardin, diététicienne-nutritionniste à Paris. Ainsi, le lycopène présent en quantité dans les tomates protégerait contre les coups de soleil et le vieillissement prématuré de la peau (4). Par ailleurs, une étude américaine suggère que la vitamine A, impliquée dans le renouvellement des tissus tels que la peau, pourrait réduire de 15 % le risque de cancer cutané (5). ■

Sylvie Boistard @syboistard

(1) Avis relatif à l'évaluation de l'enrichissement en sélénium d'une boisson lactée présentée comme destinée aux seniors ainsi que des allégations qui lui sont associées, Anses, 2009.

(2) Reduction of fasting blood glucose and hemoglobin A1c using oral aloe vera : A meta-analysis, Dick W.R. et al, *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 2016.

(3) Note d'appui scientifique et technique de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à la sécurité des feuilles fraîches d'aloe vera destinées à la consommation humaine, Anses, 2018.

(4) Lycopene-rich products and dietary photoprotection, Stahl W. et al, *Photochemical and Photobiological Sciences*, 2006.

(5) Association of vitamin a intake with cutaneous squamous cell carcinoma risk in the United States, Jongwoo K. et al, *JAMA Dermatology*, 2019.

PR LUC CYNOBER Professeur de nutrition à la faculté de pharmacie de l'université de Paris*

Il ne faut pas multiplier les compléments alimentaires

« Une alimentation saine et variée apporte tous les nutriments nécessaires à l'organisme pour lutter contre le vieillissement. Certaines personnes peuvent avoir besoin de se supplémenter, notamment les végétaliens, pour ne pas être carencés en vitamines du groupe B. Il ne faut toutefois pas multiplier les cures car certains minéraux ou oligoéléments peuvent entrer en compétition lors de leur absorption intestinale. Consommer trop de zinc peut ainsi induire une carence en cuivre. Attention aussi aux compléments alimentaires à base de bêta-carotène qui, chez les fumeurs, peuvent favoriser le développement d'un cancer, ainsi qu'à ceux favorisant la perte de poids. Ils contiennent de la synéphrine, une substance présente dans l'écorce de l'orange amère, qui, associée à la caféine, peut avoir des effets néfastes sur le système cardio-vasculaire. »

* Auteur de *Tout sur les compléments alimentaires*, Odile Jacob, 2017.

Au cœur du chantier de Notre-Dame

Deux ans après l'incendie de la cathédrale de Paris, « Sciences et Avenir » a pu franchir les portes de l'édifice meurtri. Pour découvrir l'achèvement du tri des vestiges et les premiers enseignements qu'ils livrent pour la restauration et la recherche.

Par Marine Benoit, Arnaud Devillard et Sylvie Rouat

REMY GRANDROQUES/SIPA

Le 15 avril 2019, Notre-Dame s'embrasait. La flèche de Viollet-le-Duc devrait être reconstruite à l'identique.

EN CE MATIN ENSOLEILLÉ DE MARS, Notre-Dame de Paris est ouverte à tous les vents. Au sens propre. Portes, lucarnes, fenêtres, tout ce qui peut rester ouvert et laisser circuler l'air l'est. Au premier étage, dans le triforium, des affichettes demandent de laisser grandes ouvertes, « *pour aération* », les trappes des combles des bas-côtés, révélant des voûtes habituellement invisibles. Il y a deux ans, dans la soirée du 15 avril 2019, l'eau des pompiers déversée sur l'édifice pour éteindre l'incendie qui a détruit le toit, la charpente et la flèche, a tout imprégné : les murs, les sols, le mortier. Sans parler des intempéries qui ont pu ensuite entrer par les deux béances de la voûte effondrée, dans la nef et à la croisée du transept. Depuis, des bâches géantes tentent de protéger l'intérieur. « *C'est difficile de colmater totalement quand il y a de grosses pluies*, note Aline Magnien, directrice du Laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH) chargé de l'analyse des vestiges de pierre de la cathédrale. *Nous continuons à suivre les mouvements d'eau et à étudier la dynamique du séchage. Ces données sont importantes car il ne pourra pas y avoir de restauration complète tant que le bâtiment ne sera pas sec.* »

165
millions d'euros
Le montant du budget, réévalué, de la consolidation de Notre-Dame de Paris.

Ceinturés de palissades métalliques, Notre-Dame de Paris et son parvis sont devenus un vaste chantier, placé sous l'égide d'un établissement public *ad hoc*, présidé par le général Jean-Louis Georgelin. Au-dessus de l'édifice

PATRICK ZACHMANN/MAGNUM PHOTOS

Des bâches protègent l'intérieur de la cathédrale des intempéries, afin que l'édifice puisse être sec avant d'entamer les travaux de restauration.

cerné d'échafaudages, la grue de 75 mètres décrit des cercles silencieux. Autour, semi-remorque et chariots élévateurs s'activent dans le bruit des moteurs tandis que circulent ouvriers, techniciens et chercheurs en tenue de protection, certains équipés de combinaisons jetables ou de masques à ventilation assistée. Le site est en effet régi par un rigoureux protocole sanitaire dû à la présence de particules de plomb. Elles proviennent de la toiture partie en fumée*. On fait ses premiers pas sur le site au terme d'une séance de prévention liée au plomb d'une bonne demi-heure. On en ressort par un sas de décontamination avec douche obligatoire.

Deux ans après le drame, il n'est pas encore question de restauration. Car la cathédrale est toujours considérée comme instable et sa sécurisation est toujours en cours *(lire l'interview p. 78)*. La pierre a subi un choc thermique, des chutes d'éléments restent possibles et l'équilibre général du bâtiment, privé de son toit et de sa charpente, a été bouleversé. Trois mois après l'incendie, des cintres en bois venaient consolider les arcs-boutants autour du chœur. Depuis le délicat démontage, achevé en novembre 2020, de l'échafaudage qui servait à rénover la flèche avant le sinistre, un coffrage de bois borde l'ouverture au-dessus de la croisée. Là où les quatre arcs de pierre s'interrompent tels des os brisés, pour laisser place à un carré de ciel bleu.

JONATHAN TRUILLET

QUESTIONS À

JONATHAN TRUILLET

CONSERVATEUR EN CHEF DU PATRIMOINE ET DIRECTEUR ADJOINT AU SEIN DE L'ÉTABLISSEMENT PUBLIC CHARGÉ DE LA CONSERVATION ET DE LA RESTAURATION DE LA CATHÉDRALE NOTRE-DAME DE PARIS

« Tout le monde espère tenir le calendrier »

Où en est-on de la phase de sécurisation ?
Elle touche à sa fin. Elle a commencé immédiatement après l'incendie et doit se terminer cet été. C'était une étape complexe et délicate. À présent, nous entamons les derniers travaux de consolidation des voûtes. Après les avoir renforcées par le dessus, nous posons de grands cintres en bois réalisés sur mesure, pour les soutenir par le dessous. Ces voûtes sont encore très fragiles. Encore récemment, des chutes ponctuelles de pierres nous l'ont montré…

En quoi ce chantier est-il hors norme ?
Il l'est à bien des égards ! Par son ampleur, sa complexité technique mais aussi par le nombre d'acteurs qu'il rassemble. Rien que pour la partie recherche, une centaine de structures publiques et privées travaillent actuellement de concert. Dès le lendemain de l'incendie, beaucoup de scientifiques se sont mobilisés et ont fini par s'organiser en huit groupes thématiques : sur le bois, la pierre, les métaux, le verre… C'est une première sur un chantier de monument historique. Les vestiges devaient être triés afin de ne pas reproduire les erreurs du passé. En l'occurrence, se débarrasser trop tôt de débris qui auraient pu faire avancer la science et servir la restauration. Ce travail de tri n'a pas été fait, par exemple, au palais du Parlement de Bretagne à Rennes, qui a subi un incendie en 1994.

Sera-t-il achevé pour avril 2024 ?
Disons que c'est notre objectif. La recherche est par nature un travail de long terme, alors que les travaux de restauration en général s'inscrivent dans des temporalités plus courtes. Mais sur ce chantier emblématique, nous nous sommes attachés à rendre ces deux calendriers compatibles. Les chercheurs ont accepté le délai, quand l'établissement public et les architectes en chef ont pleinement pris conscience que si nous voulons une restauration exemplaire, il nous faut des données fiables. ■

Propos recueillis par M. B. @marin_eben

CONSERVATION

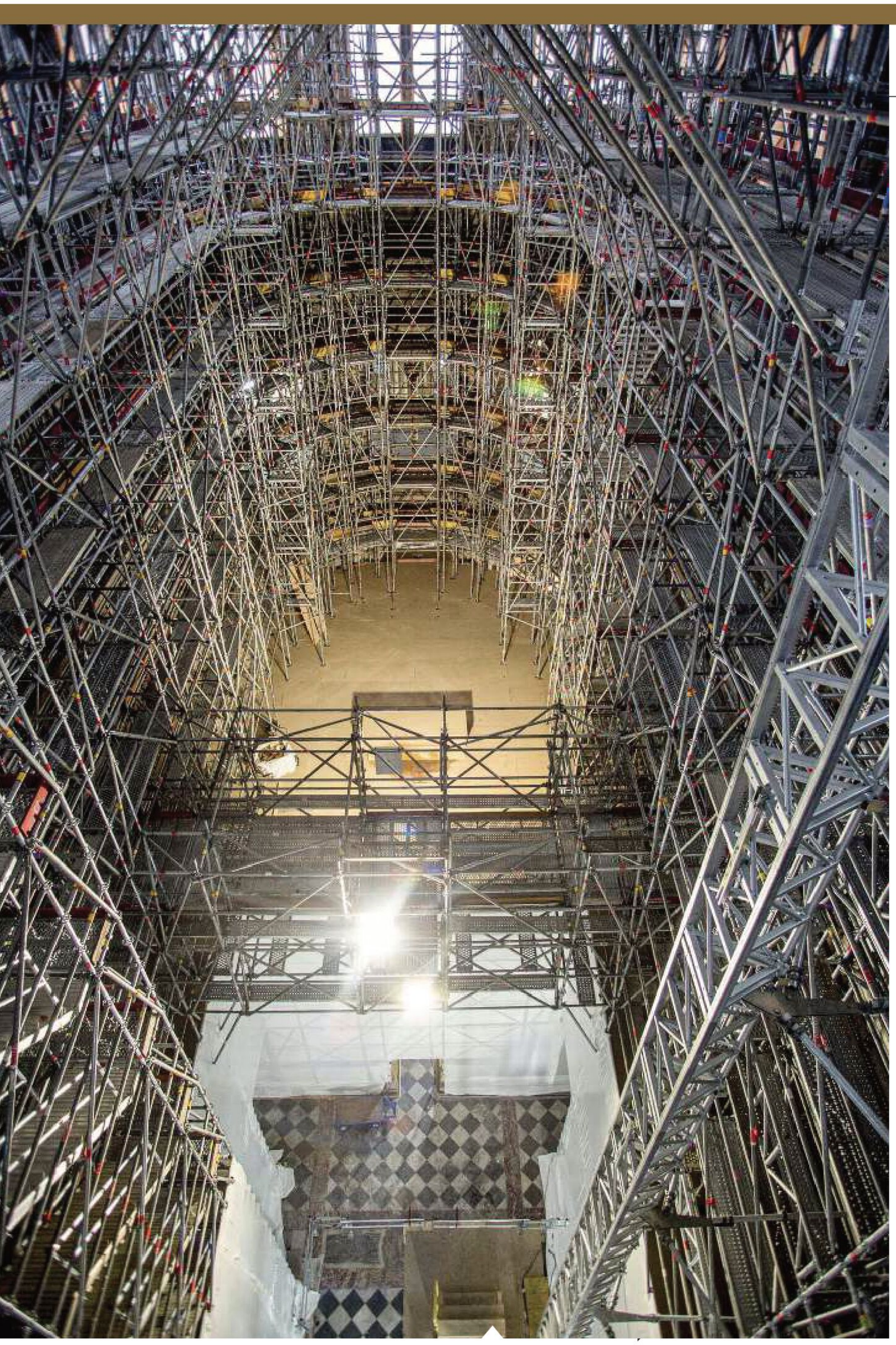
Des vestiges à la décharge ?

Inutile d'imaginer acquérir un fragment de Notre-Dame comme il a été possible d'acheter officiellement des morceaux du mur de Berlin : selon le droit français, un tel commerce est tout simplement interdit. Plus précisément, le principe d'inaliénabilité des édifices affectés au culte et des biens culturels du domaine public ne permet pas le commerce de ces débris. Pourtant, sur près de 10 000 *big bags* — ces grands sacs à gravats d'une capacité de 1 m³ — remplis avec les débris récupérés sur le sol de Notre-Dame, seuls 200 environ pourront faire l'objet d'une réutilisation dans la cathédrale. 550 devraient être stockés dans un entrepôt, où leur contenu pourra servir à la recherche scientifique. De l'aveu de l'établissement public pour la reconstruction, le reste, soit plus des neuf dixièmes, lui, devra sans doute être jeté. M. B.

Les efforts se tournent désormais vers l'intérieur de Notre-Dame. Empilées le long des Algeco de la « base vie » (bureaux, vestiaires, salles de réunion…) et estampillées d'une mention manuscrite « voûte », des pièces de bois attendent d'être assemblées. Elles formeront les cintres destinés à soutenir les arcs de la nef. Une opération d'ampleur inédite, nécessitant une technique de levage par vérins hydrauliques. D'où ces échafaudages qui s'élèvent dans les cimes de l'édifice, nef de métal à l'intérieur de la nef.

Le tri des débris aura pris plus de temps que prévu

Au sol, en revanche, c'est place nette. « *En 2019, nous avons fait le tri de tous les vestiges tombés à terre, et tout a été entreposé sous les barnums*, explique Dorothée Chaoui-Derieux, conservatrice en chef du patrimoine au service régional de l'archéologie (SRA) orchestrant le tri des vestiges. *En 2020, nous avons commencé à nous attaquer aux débris situés sur les dessus des voûtes. Nous sommes en ce moment sur celles situées autour de la croisée.* » Début avril, le déblayage devrait *a priori* être terminé. La pollution au plomb puis la pandémie de Covid-19 ont certes bousculé le calendrier, mais de l'aveu de l'archéologue, personne n'avait envisagé que ce tri prendrait autant de temps.
Sous les barnums, quatre vastes tentes blanches dressées sur le parvis de Notre-Dame, bois, blocs de pierre, fragments de décors peints ou sculptés, éléments métalliques, clous forgés reposent sur des étagères de palettes, dûment étiquetés. C'est le fruit d'un travail collectif rassemblant le LRMH, le SRA et le Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF). « *Le but est d'identifier la provenance de chaque vestige* », poursuit l'archéologue. Ainsi, certains éléments retrouveront leur place lors de la restauration. Mais finalement sans doute assez peu. « *Les pierres ont chuté de 30 mètres, ont été exposées à la chaleur de l'incendie, à l'eau des pompiers, et tout cela risque d'avoir altéré leurs propriétés mécaniques et structurelles* », estime Dorothée Chaoui-Derieux. Les blocs conservés sur place serviront surtout de modèles aux architectes. Les claveaux par exemple, ces blocs taillés en biseau et composant les arcs des voûtes. Sous une tente aménagée comme un atelier, les chercheurs s'essaient à remonter « à blanc » l'arc de la nef. Sur une bâche au sol imprimée du des-



Un immense échafaudage a été monté dans le transept afin d'installer des cintres en bois pour renforcer les arcs de la nef.

L'arc de la nef est reformé par les chercheurs à l'aide de la forme tracée au sol.

PHOTOS : PATRICK ZACHMANN/MAGNUM PHOTOS

Architectes, archéologues et ingénieurs collaborent pour trier les différents débris.

sin de cette structure de 7,39 m de rayon, ils disposent les blocs, testent des positions, des assemblages, comme on réalise un puzzle directement sur son modèle. « *C'est une expérimentation censée aider la maîtrise d'œuvre à savoir quels blocs peuvent être réemployés et à comprendre comment l'arc a été construit* », indique Aline Magnien.

Pour faciliter et multiplier les manipulations sans risque de dommage, les 42 éléments ont d'abord été transformés en modèles numériques. Ancien chercheur du Laboratoire modèles et simulations pour l'architecture et le patrimoine (CNRS/ministère de la Culture) et fondateur de la start-up de modélisation Mercurio, Eloi Gattet opère discrètement dans un coin du barnum avec un scanner à quatre appareils photo montés sur une armature en forme de cage. « *Il a été fait sur mesure pour les claveaux de Notre-Dame : démontable, adapté à la contamination au plomb et au poids des claveaux* », note-t-il, en pointant le plateau tournant où sont posées les pierres. Leurs versions numériques sont d'abord assemblées sur

écran. Puis le résultat est reproduit « en vrai » sur la bâche. Un processus qui a déjà permis des découvertes. *« Certains claveaux ne sont pas biseautés, d'autres ne le sont que d'un côté »*, remarque Éloi Gattet. Sur les faces latérales, on aperçoit des marques en croix laissées par les tailleurs de pierre de l'époque, et que seule la destruction de l'arc pouvait révéler. *« Par une analyse comparative avec les blocs encore en place dans la cathédrale, nous avons réussi à savoir si la croix était sur le lit de pose* [face d'un bloc qui est accolé au précédent] *ou sur le lit d'attente du bloc* [face d'un bloc déjà en place]. *Cela donne une indication de l'ordre du montage »*, détaille Dorothée Chaoui-Derieux. Prochaine étape : faire la même chose avec les arcs de la croisée. Du moins avec l'anneau de compression, à savoir la clef de voûte, pour aller plus vite et passer enfin à la restauration. À ce moment-là, les barnums auront été démontés et le parvis dégagé pour faire place aux entreprises et aux artisans. Ne resteront à Notre-Dame que les vestiges nécessaires aux architectes.

À la recherche de décors peints et de sculptures

Les tentes sont d'ailleurs déjà moins remplies qu'elles ne l'ont été. La table de tri voisine surtout avec des *big bags* (sacs à gravats) de 1 m³ de rebuts de tri. Les vestiges de bois sont quasi absents. Parfaitement alignées dans la pénombre, les étagères de pierre se limitent aux blocs les moins endommagés, à ceux présentant des éléments de décors peints, de sculptures, de marques lapidaires, et aux claveaux. Tout le reste est transféré au fur et à mesure sur un autre site d'entreposage loué par l'établissement public, à Saint-Witz (Val-d'Oise), au nord de Roissy. C'est le SRA qui le gérera. *« Il servira de réserve*, complète Aline Magnien. *De là partiront les échantillons dans les laboratoires pour des analyses complémentaires, des projets de recherche, des thèses. »* Le CNRS a en effet monté huit groupes de recherche thématiques destinés à approfondir les connaissances sur Notre-Dame de Paris (*lire* S. et A. *n° 878, avril 2020*). Jean-Christophe Monferran arpente ainsi le chantier pour le groupe Émotions/Mobilisations. Issu de l'UMR Héritages (CNRS/université de Cergy/ministère de la Culture), celui-ci pratique une ethnographie filmée, micro et caméra en mains. Il capte une ambiance, des impressions, des commentaires, il observe, dans le fracas des machines ou la quiétude d'un barnum.

Éclairés par le soleil d'hiver, les tours et les portails de pierre blonde de Notre-Dame ne trahissent rien du sinistre de 2019. Pour un peu, l'agitation au pied de cette façade intacte paraîtrait incongrue. Dans quelques mois, le parvis redoublera pourtant d'activités, celles de tailleurs de pierre, de charpentiers, de menuisiers… Portes grandes ouvertes, Notre-Dame de Paris attend son heure. ■ **A. D.**

@A_Devila

* À lire sur notre site : sciav.fr/890Plomb

Les 42 claveaux ont été numérisés grâce à un scanner 3D original, une structure octogonale portant quatre appareils photo.

ETABLISSEMENT PUBLIC DE CONSERVATION ET DE RESTAURATION DE LA CATHÉDRALE NOTRE DAME DE PARIS

RESTAURATION

Des matériaux à trouver dans les carrières de pierres et les forêts de chênes

S'il est acquis que tous les blocs de pierre ne seront pas réutilisés, d'autres, brisés mais non fragilisés par exemple, pourront l'être après avoir été consolidés avec de la fibre de verre ou de carbone. C'est le LRMH (Laboratoire de recherche des monuments historiques) qui étudie l'état des pierres, notamment par des carottages. Quoi qu'il en soit, la restauration de Notre-Dame de Paris nécessitera de renouveler un nombre de blocs largement supérieur à un chantier classique de restauration. D'où le lancement avec le BRGM (Bureau de recherche géologique et minière), sous contrat avec l'établissement public, d'un programme d'enquête dans les carrières du bassin parisien, celles d'origine, situées dans la capitale et sa périphérie, ayant fermé au XVIIIe siècle. *« La stratégie est de rechercher les pierres les plus proches de celles d'origine, à partir d'échantillonnages »*, explique David Dessandier, géologue au BRGM. Le travail de laboratoire devra ensuite caractériser la couleur, le grain, les propriétés mécaniques des échantillons.

Le programme doit s'achever cet été. Quant à la charpente, c'est acté, elle sera reconstruite en chêne. Il faudra pour cela 1000 arbres de cette essence. Des experts de l'interprofession France Bois Forêt ont sélectionné des spécimens dans les forêts de Conches et de Breteuil, dans l'Eure. Ceux destinés à la flèche ont été trouvés dans la forêt domaniale de Bercé (Sarthe), dont huit de plus de 1 m de diamètre pour le tabouret (la base de la structure). **S. R.** @srouat1

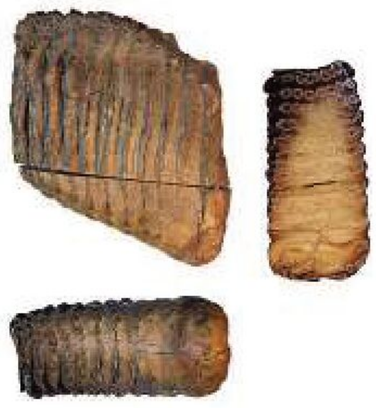
Le plus vieil ADN fossile dévoile l'histoire des mammouths

Jamais un ADN aussi ancien n'avait été extrait ! L'analyse d'une molaire de mammouth de Sibérie a permis d'établir qu'il a colonisé l'Amérique du Nord il y a près de 1,5 million d'années.

BETH ZAIKEN/CENTRE FOR PALAEOGENETICS

Les mammouths des steppes seraient arrivés depuis la Sibérie en Amérique en empruntant une bande de terre aujourd'hui recouverte par le détroit de Béring (illustration).

Le record du plus vieil ADN fossile a été pulvérisé : entre 1,2 et 1,6 million d'années. Il appartient désormais à des mammouths préservés dans le pergélisol du nord-est de la Sibérie. Jusqu'à présent, le plus ancien matériel génétique jamais conservé était attribué à un cheval de Przewalski âgé de 700 000 ans, mis au jour en 2013 au Canada. Mais une équipe du Centre de paléogénitique de Stockholm (Suède) a repoussé les limites de la conservation de l'ADN en analysant trois molaires provenant de spécimens différents. Le plus vieux appartient à une lignée génétique jusque-là inconnue, appelée « mammouth de Krestovka », qui aurait divergé d'une autre espèce sibérienne il y a plus de 2 millions d'années. L'ADN est une molécule fragile qui résiste mal aux dégâts du temps. Aussi, de la dent la plus vieille, les scientifiques n'ont-ils pu recueillir que des bribes très dégradées de code génétique qui représentent tout de même 49 millions de bases (sur 3,1 milliards pour le génome). Pour le reconstituer, il a fallu combler les « trous » avec des génomes d'espèces actuelles proches comme l'éléphant. Un travail pointu qui a permis d'établir que le mammouth de Krestovka a colonisé l'Amérique du Nord, il y a environ 1,5 million d'années. Sa lignée se serait hybridée avec celle du mammouth laineux (*Mammuthus primigenius*) il y a environ 420 000 ans pour donner naissance à une autre espèce : le mammouth de Colomb (*Mammuthus columbi*) présent en Amérique du Nord durant la dernière glaciation il y a environ 25 000 ans.



PAVEL NIKOLSKIY

De cette molaire de mammouth de Krestovka, ont pu être extraites 49 millions de bases (sur 3,1 milliards pour un génome).

Des variations génétiques liées à l'adaptation au froid

Si elle ne permet pas de remonter aussi loin, l'analyse des autres dents n'en est pas moins riche d'enseignements. Ainsi, le deuxième spécimen, Adycha, serait âgé d'un peu plus d'un million d'années. Il s'agit d'un mammouth des steppes (*Mammuthus trogontherii*), l'occupant traditionnel de la Sibérie. Il serait l'ancêtre direct du mammouth laineux, dont le troisième spécimen, Tchoukotchia, vieux de 700 000 ans serait le plus ancien représentant jamais découvert. Presque 80 % de l'ADN de ce dernier ont pu être récupérés, contre 25 % pour Adycha. Suffisamment pour comprendre « *comment ces mammifères se sont adaptés à une vie dans des environnements froids et dans quelle mesure ces adaptations ont évolué au cours du processus de spéciation* », explique Love Dalén, professeur de génétique de l'évolution à Stockholm.

Figure emblématique du dernier âge glaciaire, le mammouth laineux a développé de nombreuses adaptations au froid : pelage épais, oreilles plus courtes, graisse sous-cutanée ou encore optimisation des rythmes circadiens (cycle veille/sommeil). Or les analyses indiquent que la plupart des variations génétiques associées à ces changements étaient déjà présentes chez son ancêtre Adycha. Ces résultats pourraient en annoncer d'autres : les chercheurs espèrent obtenir du code génétique aussi vieux que le pergélisol, soit 2,6 millions d'années ! ■

Joël Ignasse @IgnasseJ

Une réplique pour admirer les joyaux de la grotte Cosquer

Après ceux de Lascaux et de Chauvet, un fac-similé de la grotte préhistorique sous-marine située près de Marseille est en cours de réalisation. Visite en avant-première des reproductions qui seront visibles en 2022.

DANS LA SALLE OBSCURE d'un vaste atelier, des projecteurs éclairent les « paléoartistes ». Nous sommes dans la banlieue de Toulouse, à L'Union (Haute-Garonne). Concentrés sur de grands panneaux en résine imitant parfaitement les parois calcaires d'une grotte, le préhistorien français Gilles Tosello et les plasticiens Lorena Alcin et David Sartre-Doublet s'appliquent à redonner vie à la seule grotte sous-marine ornée connue, découverte par Henri Cosquer en 1985 au large de Marseille (Bouches-du-Rhône). Un joyau inaccessible de l'art pariétal, dont l'entrée est dissimulée au fond d'un conduit de 135 mètres de long, à 37 mètres de profondeur (*lire l'encadré p. 84*).

Après les sites de Lascaux et Chauvet, la vaste cavité sous-marine avec ses deux salles décorées d'œuvres préhistoriques aura ainsi son fac-similé. Il doit être ouvert au public dans la Villa Méditerranée, à Marseille, en juin 2022. Un projet d'un coût de 23 millions d'euros porté par la société Kléber-Rossillon, pour lequel la région Provence-Alpes-Côte d'Azur a apporté à elle seule 9 millions d'euros. Deux ateliers — « Déco Diffusion » à L'Union et « Arc et os » à Montignac (Dordogne) — réalisent la copie fidèle grandeur nature de la grotte et de son bestiaire plurimillénaire. Ils se sont partagé la reproduction des surfaces décorées divisées en 12 panneaux. Ces entreprises avaient déjà travaillé au fac-similé de la grotte Chauvet (*lire* S. et A. *n° 805, mars 2014*), de même que l'atelier parisien de Stéphane Gérard pour la réalisation des spéléothèmes, fausses stalagmites et autres concrétions minérales, ainsi que les sociétés AAB (Ateliers artistiques du béton) et Eiffage Provence pour les superstructures de la cavité.

PATRICK AVENTURIER

PATRICK AVENTURIER

Charbons de bois de pin, terres colorées et oxydes minéraux naturels permettent à l'équipe de plasticiens de reconstituer les peintures à partir de relevés 3D.

Il y a 45 000 ans, quand les premiers *Homo sapiens* sont arrivés en Europe, la grotte Cosquer se trouvait sur la côte. Au sec. Les 500 œuvres pariétales recensées y ont été réalisées lors de deux périodes distinctes de fréquentation du site : les toutes premières figures, il y a environ 30 000 ans et les plus récentes, les plus nombreuses, aux alentours de -20 000 ans.

Des mains raturées comme pour neutraliser leur magie

C'est là qu'ont été peints les panneaux de chevaux, de bisons, de mégacéros (cerf géant), ainsi que des mains noires et rouges. Des empreintes dites négatives, obtenues par les chasseurs-cueilleurs du paléolithique en soufflant des pigments de noir de manganèse ou d'ocre rouge entre les doigts d'une main posée sur la paroi rocheuse. Mais aussi des empreintes positives, la main appliquant directement la couleur sur la roche. « *Il y a aussi un signe étonnant en forme de cheminée, absolument identique à un autre précédemment décrit dans la grotte du Placard (Charente), à des centaines de kilomètres de là* », détaille, pensif, Gilles Tosello. Preuve de contacts lointains ? *A contrario*, quelques cas « d'iconoclastie paléolithique » semblent spécifiques à la grotte Cosquer. « *Il y a des mains rageusement raturées, dont la destruction*

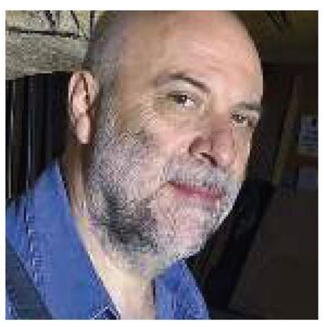
Le préhistorien français Gilles Tosello et son équipe vont travailler pendant plus d'un an dans leur atelier de Toulouse à la reproduction d'une dizaine de panneaux ornés de la grotte Cosquer.

PATRICK AVENTURIER

intentionnelle ne laisse aucun doute. Une main noire est par exemple barrée de tracés rouges. Comme si on avait voulu désactiver son pouvoir », ajoute le spécialiste.

La plupart des peintures de la grotte se reflètent dans l'eau… l'environnement étant tout autre aujourd'hui. Avec le réchauffement marquant la fin dernière période glaciaire, il y a 10 000 ans, le niveau de la mer a monté, jusqu'à ennoyer une partie de la cavité et la rendre inaccessible aux humains. Désormais, seuls des archéologues-plongeurs chevronnés peuvent se rendre dans la cavité immergée aux quatre cinquièmes. Et à condition d'y avoir été invités : l'accès à la grotte a été condamné à la suite d'un accident ayant provoqué la mort de trois plongeurs amateurs en septembre 1991. Aveuglés par les sédiments soulevés par leurs coups de palmes, ils n'étaient pas parvenus à sortir du boyau d'accès et avaient péri asphyxiés.

Pour assurer la conservation des moindres détails de ce trésor englouti, un relevé photogrammétrique 3D, en voie d'achèvement, a été entrepris en 2017. En attendant, *« ne pouvant pénétrer dans la caverne, nous n'avons d'autres choix que de nous appuyer sur les livres publiés, les relevés du site et les photographies en haute résolution transmis par la Direction régionale des affaires culturelles (Drac) et le Service régional de l'archéologie (SRA) »*, explique Gilles Tosello, concentré sur la restitution d'un mégacéros, dont ▸



MAXPPP

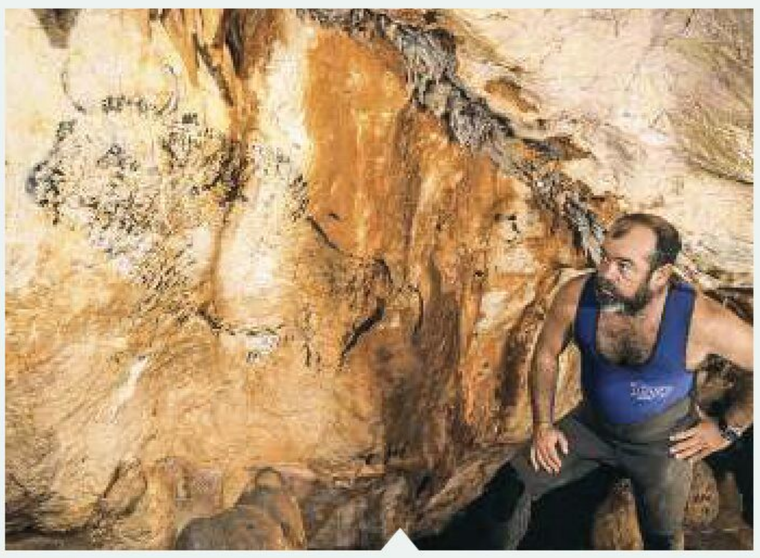
« L'accès à la grotte étant fermé, nous devons nous appuyer sur les relevés fournis par les archéologues »

Gilles Tosello, docteur en préhistoire et diplômé de l'École nationale supérieure d'arts décoratif, responsable de la reproduction des gravures et peintures

URGENCE

Des chefs-d'œuvre menacés par les eaux

Découverte en 1985, mais seulement déclarée en 1991, la grotte Cosquer est un trésor dont l'entrée se trouve aujourd'hui sous les eaux cobalt de la calanque de la Triperie, au cap Morgiou, près de Cassis (Bouches-du-Rhône), aux portes de Marseille. À l'ère glaciaire, le niveau de la mer était inférieur de 135 m et la côte se trouvait à 5 km de là. Puis il y a 10 000 ans, les températures ont commencé à remonter, et avec elles, le niveau des eaux... Vers -7000 ans, l'entrée de la cavité fut définitivement submergée. À l'intérieur, les œuvres demeuraient au-dessus du niveau des eaux. Mais elles sont désormais menacées par la montée de la mer. « *La houle, conjuguée aux marées, provoque une élévation locale de son niveau* », explique Laurent Bruxelles, géoarchéologue à l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap). « *Celle-ci se répercute tout au long du littoral, mais encore plus dans les grottes dont l'ouverture se trouve sous les flots, comme Cosquer, avec des phénomènes importants de fluctuation et de mise en pression de la cavité.* » D'où l'urgence d'une réplique pour conserver la mémoire d'un tel trésor.



HENRI COSQUER/GAMMA-RAPHO

Le plongeur Henri Cosquer (ici en 1994) a découvert la grotte sous-marine en 1985.

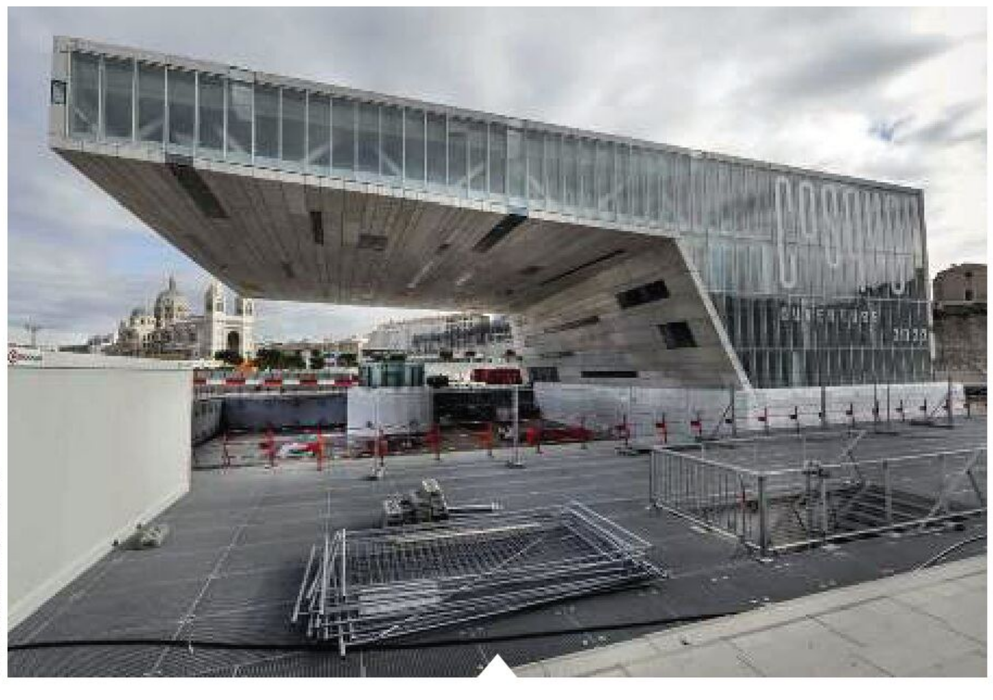
▸ les derniers spécimens, disparus il y a 5000 ans, ont été retrouvés dans des tourbières irlandaises. La main experte du préhistorien en retrace le profil à l'aide d'un fusain de charbon de bois. Celui-là même, en pin sylvestre, qu'utilisaient les chasseurs de la préhistoire. Il estompe ensuite quelques détails à l'aide d'une petite éponge. Figure hybride, au corps tracé en noir quand les bois de l'animal ont été gravés dans la partie plus tendre de la surface rocheuse.

Reproduire l'aspect des parties argileuses ou calcaires dans une grotte où 70 % des œuvres sont des gravures, pigmenter les parois, en restituer les patines — un travail de précision pour les équipes de plasticiens. Avec une difficulté supplémentaire dans ce cas : ils doivent rendre l'éclat des peintures réalisées sur de la calcite (du carbonate de calcium qui se dépose naturellement les parois rocheuses), des supports, transparents, brillants et cristallins sur lesquels les chasseurs de la préhistoire ont peint de nombreuses figures. En particulier, des animaux marins tels que de grands pingouins, des phoques, de possibles méduses, les seuls connus de tout l'art préhistorique mondial. Sans oublier des symboles sexuels tels que des phallus et des vulves. Mais c'est le panneau de « l'homme tué », qui a les faveurs de Gilles Tosello. « *Une silhouette schématique couchée sur le dos, transversée par une sorte de harpon avec des pointes barbelées* », explique-t-il. À peine visible, ce personnage fait immanquablement penser à l'homme du puits de la grotte de Lascaux (Dordogne). Situé sur une voûte, il se trouve à proximité d'un cheval et d'un phoque, mais aussi d'un bouquetin, d'un cerf et de tracés digitaux. « *Un homme qui pourrait être lui aussi une créature hybride avec une tête de phoque. Comme à Lascaux, il présente clairement une main tendue avec quatre doigts. Pourrait-il s'agir d'un mythe qui traverserait le temps et que l'on retrouverait dans les grottes de Lascaux et Cosquer ?* s'interroge à voix haute le chercheur. *C'est tout ce contexte que j'aimerais pouvoir représenter* ».

Une reconstitution complète des 1800 m² de la cavité

Les panneaux d'art rupestre en cours de réalisation dans les ateliers de Toulouse et Montignac seront transférés à Marseille dès l'été 2021. Ils seront alors installés, par le plasticien de Déco-Diffusion Bernard Toffoletti, sur les murs de leur nouvel écrin, à quelques encablures du Mucem, le Musée des civilisations de l'Europe et de la Méditerranée, près du Vieux-Port. Ils constitueront le cœur du projet muséographique Cosquer-2, une reconstitution de la totalité des 1800 mètres carrés de la grotte. Les visiteurs pourront les admirer équipés de casques audio à bord de petits véhicules électriques suivant un circuit programmé. C'est ainsi, au sec, que l'on pourra découvrir cette indispensable réplique d'un site d'exception condamné à disparaître par l'inexorable montée des eaux. ■ **Bernadette Arnaud**

@NarudaaArnaud



PATRICK AVENTURIER

La Villa Méditerranée, à deux pas du Mucem et du Vieux-Port, à Marseille, servira d'écrin au fac-similé.

La chute d'un astéroïde a bien provoqué la fin des dinosaures

Des chercheurs ont fait le lien entre la poussière riche en iridium trouvée un peu partout dans le monde et l'immense cratère de Chicxulub, au Mexique, où l'astre s'est écrasé.

ENFIN ! DE LA POUSSIÈRE DE L'ASTÉROÏDE qui a conduit à l'extinction des dinosaures a été mise en évidence pour la première fois au sein même du cratère de Chicxulub, au Mexique. Si pour la grande majorité des chercheurs, il ne faisait plus de doute que ce cratère d'impact de 200 km de diamètre, localisé sous la péninsule du Yucatán, était dû à la chute d'un astéroïde de 12 km de diamètre il y a 66 millions d'années, une poignée de scientifiques continuait d'affirmer que Chicxulub avait pu se former avant ou après l'extinction des dinosaures. Que manquait-il pour les convaincre ? De quoi relier sans équivoque l'énorme cratère aux poussières de cet astéroïde massif qui ont été retrouvées sur plus de 350 sites dans le monde. C'est ce qu'a fait une équipe internationale qui publie ses résultats dans la revue *Science Advances*.

Pour comprendre, il faut rappeler qu'au début des années 1980, des chercheurs ont détecté une très fine couche d'argile marquant la limite entre le crétacé et le paléogène, dans des couches de sédiments en Italie et en Espagne. Après y avoir mesuré des concentrations remarquablement élevées d'iridium — un métal rare à la surface du globe mais présent en quantité dans les météorites —, ils déduisirent que la poussière en question n'avait pu se former qu'avec la vaporisation d'une météorite géante. Le tragique scénario s'est alors dessiné : lors de l'impact, l'onde de choc a vaporisé l'astéroïde en poussière. Celle-ci s'est répandue partout et a créé ce que l'on appelle un hiver nucléaire (les rayons du Soleil ne parviennent plus à traverser l'atmosphère rendue opaque) conduisant à la disparition de 75 % des espèces. Jusqu'à ce que toute la poussière finisse par retomber au sol, plusieurs décennies plus tard.

MARK STEVENSON/AKG IMAGES

Sous l'effet de l'impact, l'astéroïde massif a été pulvérisé et ses poussières se sont disséminées sur l'ensemble de la Terre, entraînant un hiver nucléaire responsable de la disparition des trois quarts des espèces (*illustration*).

Un forage au centre même du cratère d'impact

Pour relier cette poussière retrouvée un peu partout sur le globe à Chicxulub, les chercheurs ont foré au centre même du gigantesque cratère d'impact, dans une zone plus élevée appelée *peak ring*. « *C'est un endroit très particulier, préservé, où le tsunami provoqué par l'impact n'a pas effacé toutes les traces d'iridium* », explique Ludovic Ferrière, conservateur de la collection de météorites du muséum d'Histoire naturelle de Vienne, en Autriche, et coauteur de l'étude. Les scientifiques ont extrait de ce relief 303 « carottes » de roche, d'une longueur totale de 835 m qui ont permis, sur la base d'analyses géochimiques approfondies, de faire le lien entre les poussières et l'immense dépression : « *Les plus fortes concentrations en iridium ont été trouvées dans un intervalle riche en argile, dans les sédiments juste en dessous du calcaire du paléogène*, affirme Ludovic Ferrière. *C'est vraiment un enregistrement sans précédent, la pièce manquante du puzzle.* » ■

Marine Benoit @marin_eben

La Recherche

Pourquoi le concept de cerveau reptilien fascine autant

Le sociologue Sébastien Lemerle explique comment cette théorie qui prétend expliquer nos comportements élémentaires s'est popularisée… en dépit de son caractère erroné.

S. LEMERLE

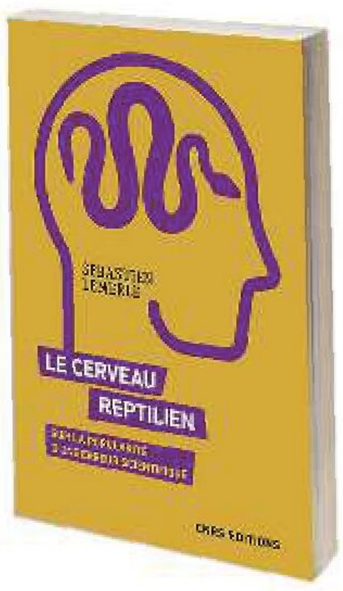
Sébastien Lemerle, sociologue, est maître de conférences en sciences de l'information et de la communication à l'université Paris-Nanterre. Ses domaines de recherche sont notamment l'histoire sociale des idées et des métaphores et la sociologie de la vulgarisation des neurosciences. Il est l'auteur du *Singe, le gène et le neurone* (PUF, 2014).

« Le concept de cerveau reptilien a été proposé par le neurobiologiste américain Paul D. MacLean (1913-2007) au début des années 1960. Il s'intègre dans une théorie plus générale : le "cerveau triunique". Selon cette conception anatomique, notre encéphale serait constitué de trois « couches » héritées de l'évolution. Le cerveau reptilien serait la première — et la plus ancienne ; il serait commun à tous les animaux vertébrés et surtout caractéristique des reptiles, d'où son nom ; il participerait aux processus de préservation de l'espèce comme de l'individu (recherche de nourriture, de défense, de reproduction, etc.) [les deux autres couches sont le système limbique et le néocortex, *lire extrait*]. Et parce qu'il serait limité à ces quelques comportements élémentaires éprouvés, Paul D. MacLean considère que le cerveau reptilien constitue un obstacle à l'exercice de notre liberté rationnelle, au développement de la culture, bref à l'épanouissement de la condition humaine.

Ce concept a très vite été décrié par les neurobiologistes. En France, des spécialistes reconnus comme Jean-Pierre Changeux, Alain Prochiantz et Jean-Didier Vincent critiquent l'organisation artificielle, simpliste du système nerveux telle que l'envisage Paul D. MacLean et l'idée d'attribuer une fonction ou un comportement social à une zone précise de notre cerveau. Pourtant — et c'est là son originalité —, malgré sa validité scientifique très passagère, ce concept trouve un écho important, jusqu'à aujourd'hui, dans d'autres champs et espaces sociaux.

Dès les années 1960, on voit ainsi que le cerveau reptilien suscite l'intérêt du milieu intellectuel. Le premier vulgarisateur de la théorie est un essayiste britannique, Arthur Koestler (1905-1983). Il y consacre un chapitre dans son essai de 1967, *Le Chevalier dans la locomotive*. Et pour cause : elle apporte un fondement scientifique à sa thèse du malaise existentiel humain qui, selon lui, ne trouve pas son origine dans la politique ou le social, mais dans la physiologie. Cette vision rencontre un écho certain dans les milieux intellectuels de droite en France. Mais Paul D. MacLean suscite aussi l'intérêt chez des penseurs plutôt classés à gauche. Le sociologue et philosophe Edgar Morin par exemple. Ou encore le médecin chirurgien et neurobiologiste Henri Laborit (1914-1995). Celui-ci va, par exemple, faire un film avec le réalisateur Alain Resnais en 1979, *Mon Oncle d'Amérique*. Cela a fortement contribué à la popularisation du concept, que l'on retrouve, à partir des années 1980, dans la presse, la production culturelle, les pseudosciences — la théorie conspirationniste dite des reptiliens, selon laquelle le monde serait gouverné en secret par une population de reptiles humanoïdes d'origine extraterrestre, est influencée par Paul D. MacLean —, l'intervention psychosociale (développement personnel, coaching…), etc.

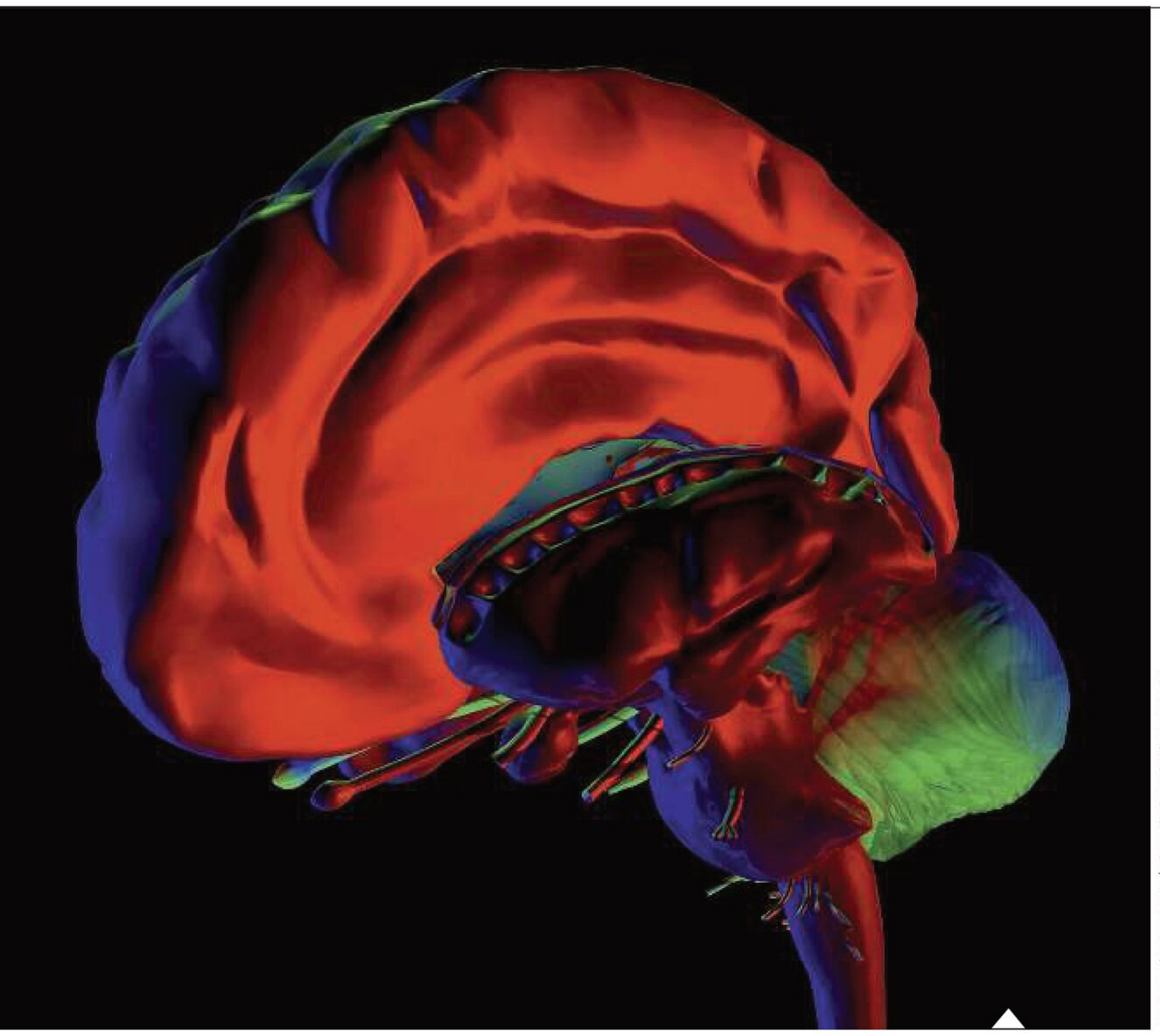
Au fur et à mesure de cette diffusion, on constate une réappropriation du concept de cerveau reptilien, progressivement dépouillé de l'*aura* néfaste que lui attribue le neurobiologiste américain. Cela devient quelque chose que l'on peut



EXTRAIT

« [La conception de l'anatomie du cerveau de Paul D. MacLean] est clairement évolutionniste […]. La partie la plus ancienne, le cerveau reptilien, […] interviendrait dans les processus de préservation, de l'individu comme de l'espèce. Les mammifères se différencieraient ensuite des reptiles par le degré de développement du cortex (ou système) limbique, rudimentaire chez les seconds. Le cerveau "limbique" […] serait le siège des motivations et des émotions, capable de répondre à une information présente en faisant appel au souvenir d'informations passées. Enfin, un dernier stade de l'évolution ne serait visible que chez les mammifères supérieurs, sous la forme du néocortex, qui atteindrait son point culminant dans l'espèce humaine, pour devenir le cerveau de la lecture, de l'écriture et de l'arithmétique. »

Le Cerveau reptilien. Sur la popularité d'une erreur scientifique, Sébastien Lemerle, CNRS éditions, 224 p., 24 €



FRIEDRICH SAURER/SCIENCES PHOTO LIBRARY

dompter, apprivoiser. C'est notamment le cas dans le champ de l'intervention psychosociale. Dans cet espace de pratiques, le cerveau reptilien sert pour fonder des discours optimistes, où il s'agit de reprendre sa vie en main, grâce à l'identification de la source de son mal-être, lequel est souvent présenté comme résultant de l'ignorance des instincts qui nous gouvernent.

Du point de vue de la diffusion des savoirs aussi, le concept de cerveau reptilien est intéressant. Il pose la question du décalage qui existe parfois entre l'état de la recherche et ce qu'on en dit dans l'espace public. Il est également emblématique du fait que la réception de certains résultats scientifiques dépend des intérêts et des intentions des locuteurs et des destinataires. Enfin, il conduit à s'interroger sur l'usage des métaphores pour véhiculer le contenu d'une théorie scientifique à un public non spécialiste. Celles-ci ont des vertus pédagogiques indéniables, mais dans le processus de reformulation, on embarque parfois avec nous des passagers clandestins — un arrière-plan culturel, idéologique, etc. — qui vont influencer la postérité de la théorie. » ■

> « Cela pose la question du décalage qui existe parfois entre l'état de la recherche et ce que l'on en dit dans l'espace public »

Propos recueillis par Vincent Glavieux @vglavieux

Selon le neurobiologiste américain Paul D. MacLean, le cerveau serait organisé en trois couches, dont l'une, le cerveau reptilien, la plus ancienne (en bas) gérerait les comportements élémentaires tels que manger, se reproduire… Une théorie invalidée par les découvertes récentes en neurosciences.

SUR LE MÊME THÈME

Le sens moral du cerveau

COGNITION D'où vient la morale ? De la religion ? De l'éducation ? De la culture ? Et si, sans nier que toutes trois jouent un rôle important, on considérait l'hypothèse que les jugements moraux peuvent également avoir des bases biologiques ? C'est tout l'objet de ce livre où Stéphane Debove montre que, à l'instar de nos sens perceptifs, ils possèdent certaines propriétés, comme l'automatisme, la rapidité, le caractère non conscient et la spécificité, qui font penser qu'ils pourraient eux aussi être produits par un sens : un « sens moral », provenant d'une capacité cognitive évoluée par sélection naturelle. **V. G.**

Pourquoi notre cerveau a inventé le bien et le mal, Stéphane Debove, HumenSciences, 300 p., 21 €.

Cerveau asymétrique

PERCEPTION On connaît les capacités de notre cerveau à traiter l'information visuelle pour nous permettre de construire une représentation de notre environnement. Mais savez-vous que cette perception est biaisée ? Elle est en fait extrapolée (le cerveau reconstruit une image plus large que celle que nos yeux voient réellement)… et décalée sur la droite. La faute à l'asymétrie de fonctionnement du système visuel que Frédéric Flamant, spécialiste du neuro-développement, explique avec pédagogie dans cet ouvrage, où il fait aussi découvrir la chiralité des molécules, la physique quantique des atomes, etc. **V. G.**

La Science insolite de l'asymétrie, Frédéric Flamant, Seuil, 272 p. 21 €.

Un autre regard sur l'AVC

SOCIOLOGIE Après un accident vasculaire cérébral (AVC), à gravité équivalente de lésion, les possibilités de récupération ou d'adaptation des individus ne sont pas les mêmes. Les dimensions biologique et neurologique sont évidemment capitales. Ce ne sont pas les seules. Selon qu'on est homme ou femme, ouvrier ou cadre supérieur, que le patient ou les médecins accordent ou non une grande valeur à la capacité disparue, les pertes liées à l'AVC se vivent différemment et se récupèrent de manière inégale, détaille l'auteure, qui a enquêté auprès de services de neurologie et de rééducation. **V. G.**

Réparer les cerveaux. Muriel Darmon, La Découverte, 328 p., 23 €.

JUAN-CARLOS MUNOZ/BIOSPHOTO

L'auteur a enregistré pendant des décennies vocalises et autres stridulations pour les analyser.

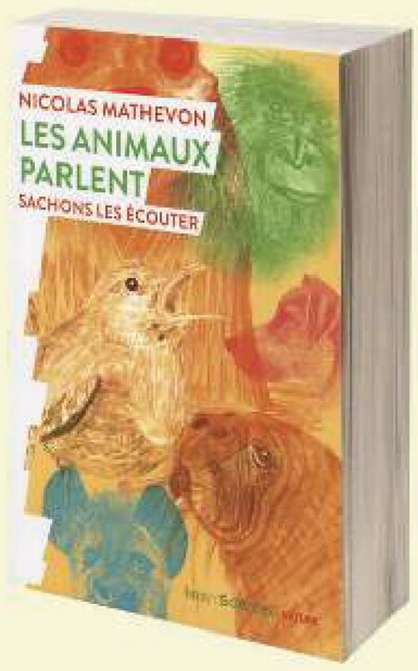
Décrypter le langage animal

Le bioacousticien Nicolas Mathevon détaille la richesse et la complexité de la communication entre les animaux y compris issus d'espèces différentes.

VOCALISES *« Liouuinn-irrhouiiin »*. Si l'on diffuse des pleurs de bébé humain dans un bassin de crocodiles, les femelles sont irrésistiblement attirées par le signal de détresse du bambin. *« Les modulations des pleurs, ses rapides montées dans l'aigu, leur côté rugueux évoquent les cris de leurs propres enfants »*, analyse Nicolas Mathevon, professeur à l'université de Saint-Étienne, fondateur d'une équipe de recherche en bioacoustique. Il voulait vérifier si les reptiles peuvent comprendre les émotions codées dans les communications d'autres espèces. Une question cruciale pour cet homme, qui travaille lui-même depuis trente ans à percer les mystères des sons animaux, et à savoir ce que se racontent les bêtes.

Du grillon qui craquette, à la mésange qui zinzinule, en passant par l'hyène qui ricane et le bébé crocodile qui vagit, ce spécialiste des sons a tendu l'oreille et capté puis analysé vocalisations et stridulations animales, de la Provence jusqu'aux étendues glacées de l'Arctique en passant par la jungle amazonienne. Les *Homo sapiens* sont peut-être les maîtres de la dialectique, mais les autres animaux usent de langages perfectionnés pour exprimer leurs émotions, choisir un partenaire, ruser, savoir qui domine ou se soumet, marquer leur territoire, sonner l'alarme, appeler à l'aide. Dans cet ouvrage, Nicolas Mathevon s'intéresse aussi aux mécanismes évolutifs qui ont sélectionné un chant plutôt qu'un autre, rappelle que ces vocalises ne sont pas toujours innées et nécessitent parfois de longs apprentissages. Cela dit, parler des sons sans les faire entendre est une gageure. Pour éviter la frustration, la lecture d'un code QR permet de se rendre sur un site Internet riche en sonorisations ou de visionner les films d'Antonio Fischetti et de Jacques Mitch qui ont accompagné ces missions sur le terrain. ■

Rachel Mulot



Les animaux parlent, sachons les écouter, Nicolas Mathevon, Humensciences, 514 p., 23 €

Les bizarreries de l'astronomie

PANORAMA L'astronomie en s'amusant : cela pourrait être l'autre titre de cet ouvrage de Yaël Nazé. Habituée de la vulgarisation — il s'agit de son douzième livre —, l'astrophysicienne belge nous régale d'histoires de fausses découvertes — quand un four à micro-ondes crée un signal étrange —, de travers bien humains des astronomes du passé ou contemporains, ou encore de croyances ésotériques qui perdurent, malgré les preuves scientifiques qui s'accumulent.

Les tenants d'une Terre plate qui s'accrochent, ceux qui ont rencontré des extraterrestres, ou qui veulent s'approprier le cosmos.

Un panorama de l'étrange complet et rafraîchissant. ■ **Ph. P.**

Astronomie de l'étrange. Individus singuliers, objets bizarres, idées insolites, Yaël Nazé, Belin, 380 p. 24 €

Sous le joug des épidémies

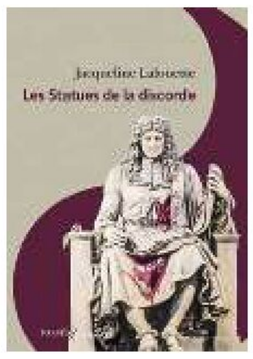
VACCINS Les maladies infectieuses incarnent l'une des grandes tragédies de la vie. Elles frappent tous les êtres vivants : les animaux, les plantes, même les bactéries qui nous infectent peuvent elles aussi être attaquées par des virus... Frédéric Tangy, qui dirige le laboratoire d'innovation vaccinale à l'Institut Pasteur, et Jean-Nicolas Tournier, spécialiste des maladies infectieuses à l'Institut de recherche biomédicale des armées, démontrent avec clarté que les maladies infectieuses sont indissociables de l'histoire des êtres humains. Depuis le néolithique jusqu'à 2020, ils retracent les grandes épidémies qui ont frappé les populations et comment les humains tentent d'y échapper grâce à la vaccination. ■

M. G.

L'Homme façonné par les virus, Frédéric Tangy et Jean-Nicolas Tournier, Odile Jacob, 292 p., 21,90 €

Ces statues qu'on abat

MÉMOIRE Des représentations de personnages jugés insupportables pour racisme ou esclavagisme ont été abattues à travers le monde dans le sillage du fracas engendré par la mort de l'Afro-Américain George Floyd, tué par un policier le 25 mai 2020, à Minneapolis (États-Unis).

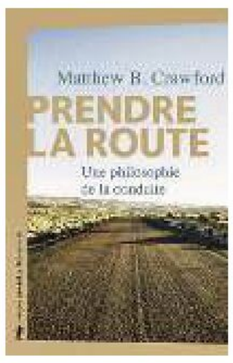


Pour mieux comprendre les enjeux autour des « statues de la discorde » Jacqueline Lalouette, historienne spécialiste de la libre-pensée, de la laïcité et de l'anticléricalisme aux XIXe et XXe siècles décrypte ces événements, y compris en France ultramarine et continentale, et revient sur des solutions.
Du retrait de certaines œuvres à la réalisation de statues de nouveaux héros. ■ **B. A.**

Les Statues de la discorde, Jacqueline Lalouette, Passés Composés, 237 p., 17 €

Le plaisir étrange qu'on appelle conduire

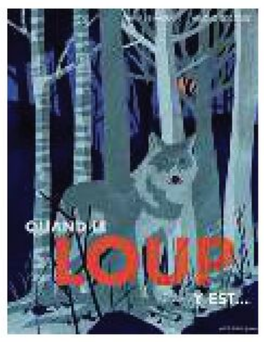
PILOTAGE Que signifie prendre le volant à l'heure des voitures bardées d'informatique? Comment les véhicules autonomes altèrent le lien entre route, voiture et conducteur? Philosophe américain par ailleurs passionné de mécanique, Matthew B. Crawford explore la sous-culture de l'automobile. Entre des réflexions sur les ambiguïtés de la sécurité et du recyclage des véhicules anciens, sur le high-tech et le *tunning*, le livre glisse des récits personnels. Mention spéciale pour le « derby de démolition du comté de Warren ». ■ **A. D.**



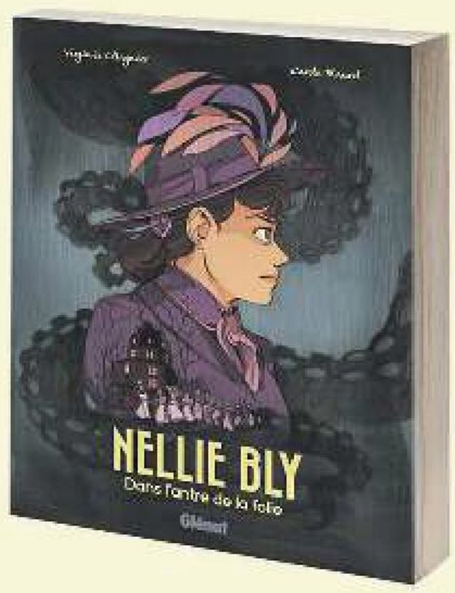
Prendre la route, une philosophie de la conduite, Matthew B. Crawford, La Découverte, 350 p., 23 €

Tout sur le loup

JEUNESSE Cet album commence par l'interview imaginaire… d'un loup. Qui promet de recoloniser — un jour peut-être — jusqu'aux forêts de la région parisienne. Sur un ton léger mais très documenté, la journaliste Diana Semaska et l'illustratrice Hélène Georges, au trait élégant, abordent tous les aspects des différentes espèces existantes, des règles qu'elles suivent pour chasser leurs proies à leur impact sur la flore dont on découvre qu'elles favorisent largement le développement… en croquant les herbivores. Le thème de la régulation des populations est bien sûr évoqué, les autrices n'hésitant pas à rappeler que les tirs non sélectifs peuvent paradoxalement accentuer les conflits entre loups et bergers. ■ **C. C.**



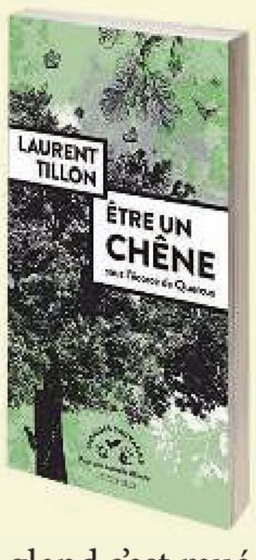
Quand le loup y est…, Diana Semaska et Hélène Georges, Actes Sud Junior, 66 p., 16,50 €



Dans l'antre de la folie

BD Nellie Bly, vous connaissiez? Quel personnage extraordinaire que cette pionnière du journalisme d'investigation et de l'immersion clandestine à la fin du XIXe siècle à New York! Cette bande dessinée nous plonge dans l'une de ses plus fameuses enquêtes où elle s'est fait interner dans l'asile psychiatrique de Blackwell. Avec une facilité révoltante. En effet, la plupart des aliénées y étaient alors internées non pas parce qu'elles étaient folles mais simplement parce qu'elles ne remplissaient plus leurs rôles d'épouse, de mère ou de gouvernante… Le récit est glaçant, parfaitement servi par le trait délicatement manga de Carole Maurel. On attend avec impatience d'autres BD sur les enquêtes de cette femme hors du commun. Elle a réalisé des reportages clandestins dans des usines, a été expulsée du Mexique après un article, a été la première femme à suivre les traces de Phileas Fogg en faisant le tour du monde en solitaire en 72 jours, a déposé des brevets pour diverses inventions, etc. Il était temps de la redécouvrir enfin… ■ **Hervé Ratel**

Nellie Bly, dans l'antre de la folie, Virginie Ollagnier-Jouvray et Carole Maurel, Glénat, 176 p., 22 €



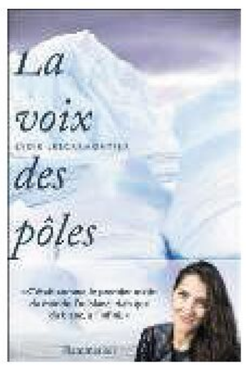
Auprès de mon arbre

COHABITATION 1780. Au milieu d'une vaste lande, parsemée de grands arbres, un gland parvenu à maturité se détache d'un chêne sessile, déjoue nombre de pièges fatals — charançons, mulots, cochons — et finit par s'enraciner. Deux cent quarante ans après, cette lande est devenue la forêt de Rambouillet, et le gland s'est mué en *Quercus*, l'arbre de Laurent Tillon. Oui, « son » arbre. Biologiste et ingénieur forestier, l'auteur de ce récit naturaliste empreint d'humour et d'empathie a, depuis son adolescence, tissé avec *Quercus* une relation intime, faite d'écoute et d'observation. À partir de la description du fabuleux fonctionnement d'un chêne — capable notamment de caler ses rythmes de reproduction sur l'évolution des populations de prédateurs potentiels —, ce spécialiste de la biodiversité retrace la vie de son compagnon et explore avec grâce le jeu des interactions du vivant. À l'abri de *Silva*, la forêt, s'entrelacent, coopèrent, ou rentrent en compétition végétaux, insectes, oiseaux, rongeurs… Une cohabitation dans la diversité à ériger en exemple pour les humains. ■ **Andreina de Bei**

Être un chêne, sous l'écorce de *Quercus*, Laurent Tillon, Actes Sud, 320 p., 22 €

Itinéraire d'une glaciologue

PÉRIPLE Stagiaire presque malgré elle dans un laboratoire de glaciologie, Lydie Lescarmontier découvre le glacier antarctique Mertz de l'intérieur, en écoutant d'abord ses frémissements et glissements… depuis Toulouse. Le voyage vers le continent blanc pour fouler ses flancs sera ensuite long, semé d'embûches, de revers amers et de drames. Mais aussi l'occasion d'émerveillements, de rencontres chaleureuses et d'émotions qui vont changer le cours de sa vie. Ces périples scientifiques dans les quarantièmes rugissants et dans l'Antarctique dessinent une trajectoire initiatique qui va l'amener à porter la voix des Pôles. Captivant et émouvant. ■ **S. R.**



La Voix des Pôles, Lydie Lescarmontier, Flammarion, 304 p., 21,90 €

EXPOSITIONS

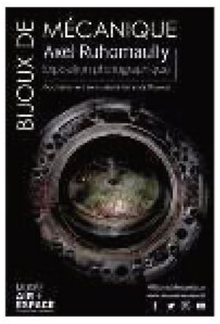
Grenoble (38)

Le jardin extraordinaire
Un jardin idéal où les enfants de 3 à 7 ans déambulent du potager au verger, d'une cabane à une serre, et où chaque végétal rencontré dévoile, à travers des jeux, son secret.
La Casemate, 2, place Saint-Laurent, sur réservation.
Rens. : 04.76.44.88.80.

Jumièges (76)

Visiter Pompéi : Claudio Sabatino dans les pas de Gustave Flaubert
À l'occasion du bicentenaire de la naissance de Gustave Flaubert, le photographe italien présente 7 sites de Pompéi en lien avec la visite de l'écrivain sur place en 1851.
Abbaye de Jumièges, rue Guillaume-le-Conquérant, jusqu'au 27 juin.
Rens. : 02.35.37.24.02

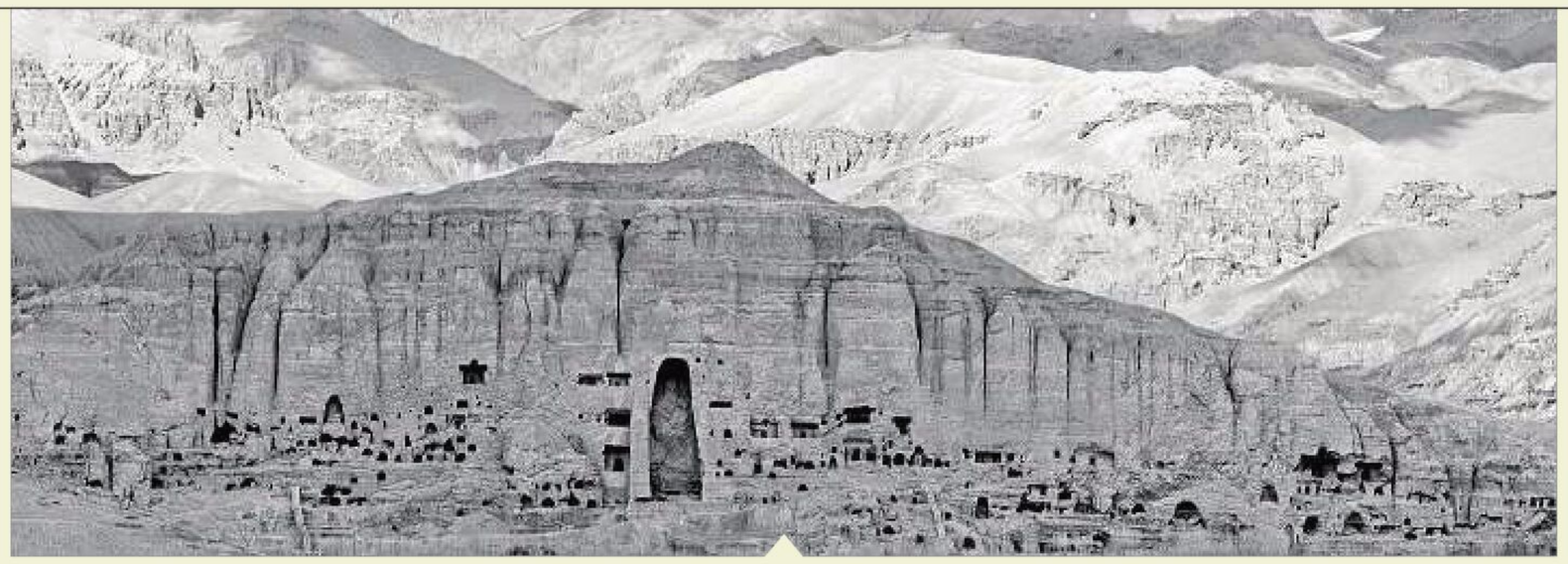
Le Bourget (93)



Bijoux de mécanique
Axel Ruhomaully expose 56 photographies artistiques de pièces du patrimoine aéronautique conservées au musée de l'Air et de l'Espace. L'artiste soumet moteurs d'avions, horlogerie, avions-jouets ou intérieur de cockpit à son travail original sur la lumière.
Musée de l'Air et de l'Espace, 3, esplanade de l'Air-et-de-l'Espace, jusqu'au 28 août.
Rens. : 01.49.92.70.00

Lens (62)

Les tables du pouvoir, une histoire des repas de prestige
Le pouvoir, ses codes et ses hiérarchies se mettent en scène au moment de passer à table. C'est ce que racontent ces pièces (tableaux, bas-reliefs, porcelaines), de la Mésopotamie à la IIIe République française.
Louvre-Lens, 99, rue Paul-Bert, jusqu'au 26 juillet
Rens. : 03.21.18.62.62



COURTESY PASCAL CONVERT, GALERIE ERIC DUPONT

Cette photo, longue de 16 m, de la falaise de Bamiyan (Afghanistan) a été réalisée à partir de 4000 clichés.

Paris (75) / Exposition

Des images et des hommes, Bamiyan 20 ans après

Le 11 mars 2001, six mois avant les attentats du World Trade Center à New York, les deux bouddhas géants de Bamiyan, en Afghanistan, étaient pulvérisés. Dynamités par les talibans, dans une attaque inédite de monuments du Patrimoine mondial. Pour célébrer l'anniversaire de la disparition de ces spectaculaires vestiges bouddhiques du VIe siècle, le musée Guimet dédié aux arts asiatiques, à Paris, vient d'inaugurer la petite exposition « Des images et des hommes, Bamiyan 20 ans après ». Une rétrospective dont la pièce maîtresse est une exceptionnelle photo panoramique de 16 mètres de long, réalisée par le photographe plasticien Pascal Convert à partir de 4000 clichés, selon un procédé photographique datant du XIXe siècle à base de sels de platine. Accompagnée de nombreux documents — lettres, dessins, photos, carnets de terrain, objets —, cette exposition est l'occasion de revenir sur les liens particuliers entre l'Afghanistan et l'archéologie française, avec des vitrines consacrées au couple d'archéologues pionniers de Bamiyan, Ria et Joseph Hackin (1886-1941), conservateurs du musée Guimet, morts tragiquement pendant la Seconde Guerre mondiale. ■ **Bernadette Arnaud**
Musée national des arts asiatiques-Guimet, 6, place d'Iéna, jusqu'au 21 juin. Rens. : 01.56.52.54.33

Lyon (69)

La Terre en héritage du néolithique à nos jours
Il y a 12 000 ans, les humains se sédentarisent. Ils domestiquent les animaux et cultivent la terre. Cette exposition explore ce bouleversement du rapport entre populations et environnement et ses conséquences jusqu'à aujourd'hui.
Musée des Confluences, 86, quai Perrache, jusqu'au 13 février 2022.
Rens. : 04.28.38.12.20

Marseille (13)

Civilization, quelle époque !
Ces 222 tirages signés de 120 photographes de 30 pays dessinent un portrait du XXIe siècle d'avant la pandémie de Covid-19. Transports, villes mais aussi relations humaines, individualisme et exercice du pouvoir sont à l'honneur.
Mucem, 1, esplanade J4, jusqu'au 28 juin.
Rens. : 04.84.35.13.13

Morlanwelz (Belgique)

Le monde de Clovis, itinéraires mérovingiens
Des fouilles récentes en Belgique ont mis au jour les objets de cette exposition, donnant un nouvel éclairage sur l'époque de Clovis. Parures, armes, bijoux témoignent d'une richesse culturelle.
Musée royal de Mariemont, 100, chaussée de Mariemont, jusqu'au 13 juin. Rens. : 00.32(0)64.273.741

Paris (75)

Dessiner pour Napoléon
Ces dessins, cartes ou plans exécutés par des artistes parfois célèbres étaient des documents de travail. Le secrétariat d'État impérial s'en servait pour présenter des projets d'aménagement ou des innovations à Napoléon 1er.
Musée des Archives nationales, 60, rue des Francs-Bourgeois, jusqu'au 19 juillet.
Rens. : 01.40.27.60.96

1 Océan
Cette exposition à ciel ouvert des photographies sous-marines d'Alexis Rosenfeld est le premier événement de la Décennie des Nations unies pour les sciences océaniques au service du développement durable. Elle donne à voir la biodiversité à préserver dans nos mers, de la Méditerranée à la mer de Corail, qui borde la Nouvelle-Calédonie.
Parvis de la gare de Lyon, place Louis-Armand, jusqu'au 30 avril.

Retrouvez toutes les expositions dans notre guide Internet : **sciav.fr/guideexpos**

LE CIEL D'AVRIL

PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

MERCURE La petite planète passe en conjonction supérieure le 19. Vue depuis la Terre, elle sera alors dans la direction du Soleil, mais derrière lui et, bien sûr, inobservable.
Elle s'écartera ensuite de notre étoile… mais pas assez pour être aisément décelable. Il faudra attendre le mois prochain pour pouvoir l'admirer en soirée aux côtés de Vénus.

VÉNUS L'étoile du Berger n'est pas visible ce mois, beaucoup trop proche de la direction de l'astre du jour.

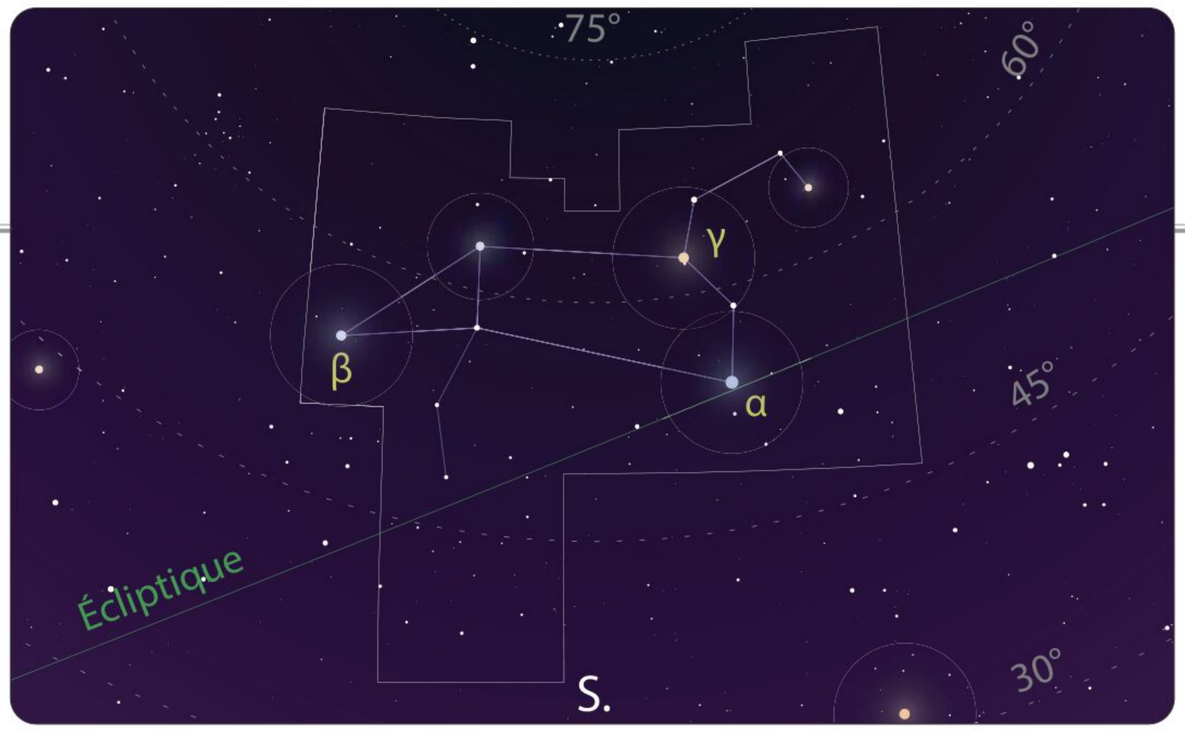
MARS La planète Rouge est observable à la nuit tombée, à mi-hauteur dans le ciel vers l'ouest. Son éclat n'est plus que le pâle reflet de ce qu'il était à automne et elle se confond facilement avec une étoile. Elle se couche en milieu de nuit. Mars quitte la constellation du Taureau pour les Gémeaux le 24.
S'éloignant de nous à raison d'un million de kilomètres chaque jour, elle perd encore 20 % de son éclat au cours du mois.

JUPITER La plus grande des planètes est visible en fin de nuit et au petit matin, bas vers le sud-est. Très lumineuse, elle quitte le Capricorne pour le Verseau le 25.

SATURNE La planète aux anneaux, moyennement brillante dans le Capricorne, se trouve sensiblement dans les mêmes conditions d'observation que Jupiter. En fin de mois, elle se lève 3 heures avant le Soleil.

L'appli du mois

ECLIPSE CALCULATOR 2 est une application gratuite en anglais disponible sous Android.
Elle permet de calculer les circonstances générales et locales des éclipses de Soleil et de Lune ainsi que des transits de Mercure et de Vénus entre 1900 et 2100. Elle permet aussi de simuler, de manière réaliste, l'aspect du phénomène depuis le lieu de votre choix.



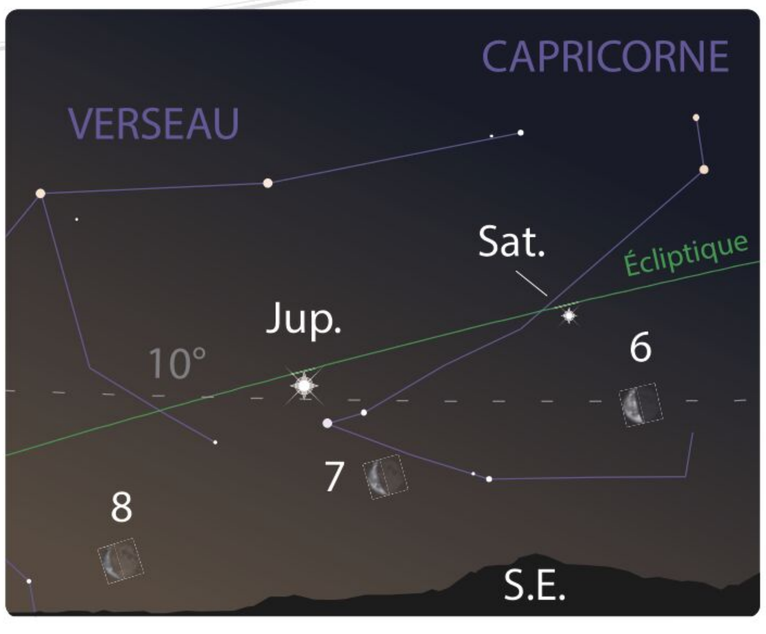
Vers 23 h tout au long de ce mois, la constellation printanière du Lion trône dans la direction du sud.

Sa majesté le Lion

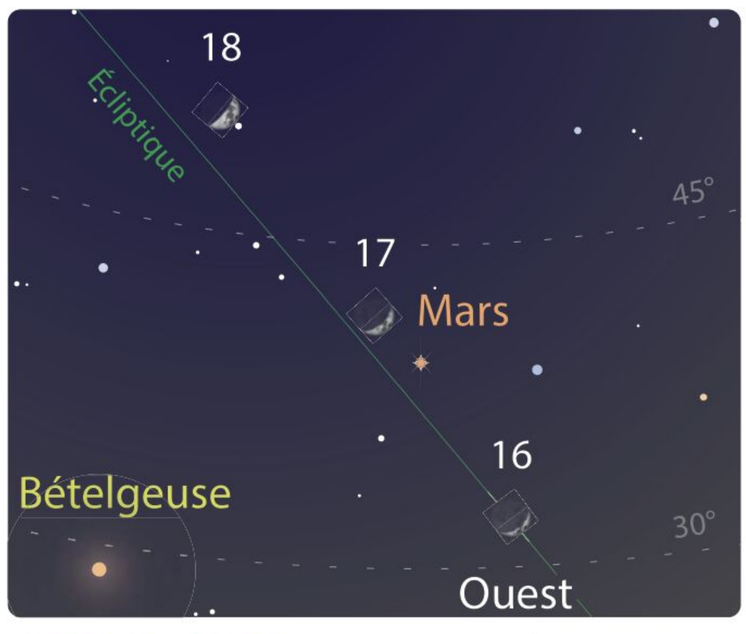
MAJESTUEUSE CONSTELLATION du zodiaque, le Lion ressemble en réalité plus à un fer à repasser qu'au félin ! Son étoile la plus lumineuse est Régulus (α). Située près de l'écliptique, elle est parfois occultée par la Lune et, plus rarement, par les planètes. Algieba (γ) est une étoile double dont la couleur orangée contraste avec le léger bleuté de Régulus. Dénébola (β) marque la frontière occidentale de la constellation.

Notre conseil Nichée sous la Grande Ourse, constituée d'étoiles brillantes, de forme remarquable et dominant largement l'horizon sud en première moitié de nuit, la constellation du Lion est immanquable à l'œil nu, même sous un ciel urbain.

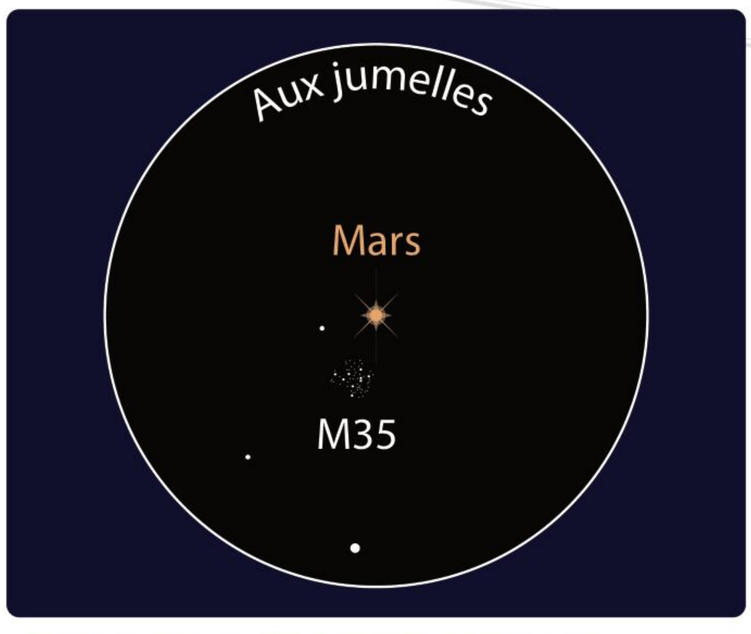
Retrouvez la carte du ciel sur sciav.fr/carteduciel



EN FIN DE NUIT LE 6, BAS SUR L'HORIZON SUD-EST, la Lune en dernier croissant se trouvera à 5° 1/2 de la planète Saturne et le lendemain, à la même distance de la planète Jupiter.



LE SOIR DU 17, 1 HEURE APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, la Lune en premier croissant se situera à 3° de Mars. Le rapprochement prendra place aux confins du Taureau et des Gémeaux.



DURANT LA DERNIÈRE SEMAINE D'AVRIL, LA PLANÈTE MARS passera non loin du bel amas d'étoiles M35 dans la constellation des Gémeaux.
Le 27, elle n'en sera qu'à un demi-degré.

QUESTIONS DE LECTEURS

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

ÉTHOLOGIE

Certains animaux vivent-ils la nuit pour éviter les humains ?

Abdul K. M.

Selon une étude de 2018, de nombreux tigres, cerfs, renards, sangliers ou coyotes vivent en effet davantage la nuit afin d'éviter de croiser des humains. Chasse, agriculture, circulation routière : toutes les formes de présence humaine, dangereuses ou non pour les animaux, augmentent leur activité nocturne. Si certains s'adaptent parfaitement à cette vie décalée, d'autres rencontrent des difficultés pour trouver de la nourriture, éviter les prédateurs ou encore se localiser en pleine nuit... À long terme, ils se reproduisent moins et leur espérance de vie raccourcit, comme cela a été observé chez des antilopes en Tanzanie ou des tigres au Népal. ■

Anne-Sophie Tassart @TassartAS

NEUROSCIENCES

D'où vient notre sens de l'orientation ?

Olivia B.

Notre sens de l'orientation résulte d'un traitement cérébral inconscient qui repose sur la capacité à traiter des informations multiples : celles issues de l'environnement (repères visuels) et celles données par notre propre corps en mouvement. Ces informations sont traitées par trois types de neurones spécialisés, situés dans l'hippocampe ou dans des structures qui lui sont directement liées. L'intégration des informations par ces cellules permet de construire une carte mentale que l'on mémorise et utilise au besoin. Même si le sens de l'orientation est inné, il peut être travaillé. Ainsi, une étude publiée en 2006 a montré que l'hippocampe des chauffeurs de taxi londoniens est plus développé que celui des chauffeurs de bus qui suivent toujours le même trajet. ■ **Marion de Vevey**

@MarionVevey

MASCARA

Cette usine de désalinisation, en Polynésie, fournit de l'eau douce sans émettre de CO_2.

ENVIRONNEMENT

Comment fait-on pour dessaler l'eau de mer ?

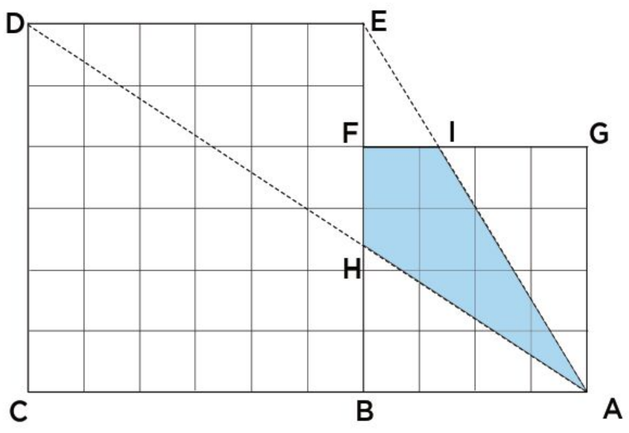
Fabrice B.

Encore peu développée à la fin du XXe siècle, la désalinisation de l'eau de mer s'est largement répandue ces dernières années dans le monde, notamment au Moyen-Orient et aux États-Unis. Cette technologie était ainsi employée dans près de 16 000 usines en 2019. Le procédé utilisé est celui de dit de l'osmose inverse : l'eau salée est filtrée à travers des membranes percées de trous de quelques nanomètres qui bloquent les sels minéraux et ne laissent passer que les molécules d'eau. Problème : il nécessite de grandes quantités d'énergie essentiellement d'origine pétrolière et les unités de désalinisation émettent au total environ 80 millions de tonnes de CO_2 par an. La solution serait de recourir à des énergies renouvelables, mais assurer une alimentation permanente imposerait une importante capacité de stockage par batteries, synonyme de coûts élevés. D'où l'idée proposée en 2014 par l'entrepreneur français Marc Vergnet : adapter la pression dans les circuits hydrauliques en fonction de la puissance fournie par le rayonnement solaire. Ainsi, dès l'aube, les pompes démarrent et leur puissance varie tout au long de la journée au gré du soleil et du passage des nuages, jusqu'à s'arrêter complètement à la tombée de la nuit. Non seulement cette technologie permet de dessaler I'eau de mer sans dégager de CO_2 mais son coût de production est aussi 50 % moins élevé que les systèmes traditionnels. Marc Vergnet a installé six stations dans des petites villes d'Afrique et de Polynésie française où l'accès à l'eau potable est difficile. ■ **Loïc Chauveau** @Loic_Chauveau

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 889, mars 2021

Pythagore fait tache

En application du théorème de Thalès, BH/CD = AB/AC = 4/10 donc BH = (4/10) x CD = (4/10) x 6 • BH = 24/10 = 12/5 • IF/GF = EF/EB = 2/6 donc IF = (2/6) x GF = (2/6) x 4 = 8/6 = 4/3 • GI = 4 - 4/3 = 12/3 - 4/3 = 8/3 • Nous pouvons calculer les aires des triangles ABH et AGI • aire ABH = 1/2(4x12/5) = 2x12/5 = 24/5 • aire AGI = 1/2(4x8/3) = 2x8/3 = 16/3 • aire AIFH = aire ABFG - (aire ABH+aire AGI) • soit 4x4 = 16 -(24/5+16/3) = 16 - (24x3 + 16x5)/15 • = 16 - (72+80)/15 = (15x16-152)/15 = (240-152)/15 • L'aire AIFH vaut 88/15, soit un peu moins de 6 cases élémentaires.



Statistiques

Sur les 100, 15 n'ont pas de cravate, 30 pas de lunettes, 25 pas de chaussures noires et 20 mesurent moins de 1,75 m. La somme de ces personnes est 90 si elles sont toutes différentes et c'est le maximum. Le minimum est donc de 10 personnes.

La danse des astres

À GAUCHE	COMMUNS	À DROITE EN PLUS
ARAGO	◆	HUBBLE
BRAHE		REEVES
COPERNIC		
GALILEE	◆	
HALLEY		FLAMMARION
HIPPARQUE	◆	HERSHEL
KEPLER		
LE VERRIER	◆	
MESSIER	◆	
NEWTON	◆	
PTOLEMEE	◆	
VERON		

La danse des Deux

2x(2-2+2-2) = 0 • 2/2+2x(2-2)= 1 •2+22-22= 2 • 2/2+2x(2/2) = 3 • 2+2+2x(2-2) = 4 • 2x2+2-2/2 = 5 • 2x2 + 2+2-2 = 6 • 22/2-2 - 2 = 7 • 2x2x2 +2-2 = 8 • 2x2x2+2/2 = 9 • 22/2-2/2 = 10 • 22/2 + 2-2 = 11 • 22/2 + 2/2 = 12 • (22+2+2)/2 = 13 • (22+2)/2+2 = 14 •22/2+2+2 = 15 • 22-2x2-2=16

Le paradoxe de Pigeolet

Modifions les noms des protagonistes. Le **Trésor** émet un billet de 1000 euros et l'utilise pour acheter un vélo. Le vendeur utilise ce billet pour régler une dette, et cela se répète à travers 10 commerçants, jusqu'au dernier qui l'utilise pour payer le **fisc**. Le fisc prélève une part des revenus pour ajuster les comptes de l'**État**. Ce qui est ici présenté comme une escroquerie est en fait l'usage gouvernemental de la monnaie pour alimenter l'économie.

Une formidable diversité

11 fois par an, l'actualité des savoirs pour tous

N° 881/882
Les nouvelles découvertes

N° 883
Les secrets de l'antimatière

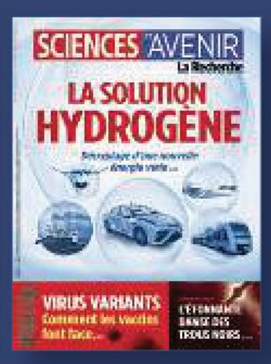
N° 884
Hérédité : ce que révèlent les tests

N° 885
Guérir avec la génétique

N° 886
L'IA au service de l'intelligence humaine

N° 887
La fin de l'Univers

N° 888
Vaincre le stress



N° 889
La solution hydrogène

Bon de commande

Je commande les numéros ci-après au prix de : **7 €** par numéro payable par chèque à l'ordre de *Sciences et Avenir* (port compris pour la France). Bon de commande à retourner à :

Sciences et Avenir
service des abonnements
45 av. du Général-Leclerc 60643 Chantilly Cedex

❑ N° 881/82 ❑ N° 883 ❑ N° 884 ❑ N° 885

❑ N° 886 ❑ N° 887 ❑ N° 888 ❑ N° 889

Nom : . . . . . .

Adresse : . . . . . .

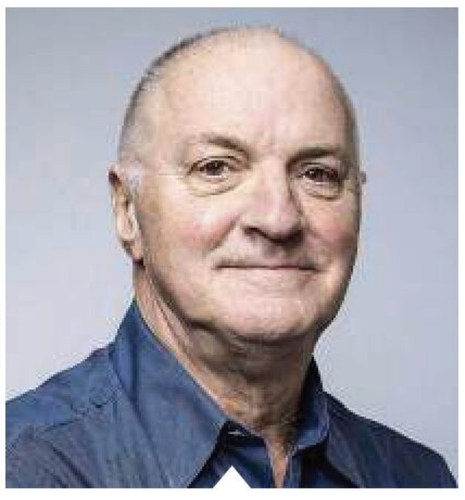
. . . . . Ville : . . . . . .

Code postal : . . . . . .

« Seule une planète préservée nous permet de vivre en bonne santé »

La biologiste Delphine Destoumieux-Garzon et l'écologue Benjamin Roche détaillent les enjeux de l'initiative One Health, reprise par l'ONU, qui promeut une approche fondée sur l'interdépendance entre santé humaine, animale et préservation de la biodiversité.

Dialogue animé par Loïc Chauveau @Loïc_Chauveau



BERNARD MARTINEZ

Loïc Chauveau, journaliste indépendant spécialisé en environnement, collaborateur régulier à *Sciences et Avenir*.

Qu'est-ce que le concept One Health (« une seule santé ») ?

Delphine Destoumieux-Garzon : C'est le constat que les domaines de la santé animale, humaine et l'environnement sont étroitement liés. Notre santé et notre bien-être dépendent de la santé des autres espèces, de la biodiversité et de la qualité de notre environnement.

Benjamin Roche : La pandémie de Covid-19 montre bien cette interdépendance. C'est un nouvel exemple d'un micro-organisme issu d'un milieu perturbé par l'humain et qui affecte sa santé. Les animaux domestiques sont également touchés par ces maladies issues des déséquilibres de l'environnement.

Qui porte aujourd'hui ce concept ?

B. R. : En novembre 2020, l'ONU a annoncé la création d'un groupe d'experts de haut niveau One Health avec l'OMS, l'OIE, la FAO, le PNUE (1). Ces fonctionnaires onusiens ont pour mission de conseiller les gouvernements. Lancé le 11 janvier 2021, le programme Prezode (Prévenir les risques d'émergences zoonotiques et de pandémies) piloté par l'Inrae, le Cirad, l'IRD (2) veut par ailleurs réunir tous les domaines scientifiques pour caractériser les risques d'émergence de zoonoses, favoriser les échanges de données et renforcer les capacités opérationnelles scientifiques et techniques des pays émergents. Dans le rapport de la Plate-forme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les écosystèmes (IPBES) de 2020 sur les zoonoses, nous appelons par ailleurs à la création d'une plate-forme de recherche spécifique à l'instar du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec).

D. D.-G. : La bonne nouvelle, c'est que ce concept s'est diffusé au-delà des scientifiques. Les politiques commencent à s'en emparer. La mauvaise nouvelle, c'est qu'on n'est pas encore dans le concret, dans l'opérationnel. Il faut construire cette coopération scientifique indispensable entre médecins, écologues, vétérinaires, épidémiologistes.

One Health est donc une réponse globale à cette intrication entre humains, animaux et micro-organismes…

D. D.-G. : Le concept a émergé en 2004 lors d'une convention sur la faune sauvage qui réunissait des vétérinaires, des écologues et des médecins issus de grandes organisations internationales. Ceux-ci ont fait le constat qu'il fallait prendre en considération la dimension environnementale pour le contrôle des épidémies et des épizooties. Le principe, c'est que seule une planète préservée permet de vivre en bonne santé. Cela

NANDA GONZAGUE/DIVERGENCE POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

exige une démarche interdisciplinaire et que des secteurs économiques comme l'agriculture et l'élevage intègrent ces notions.

B. R. : Aujourd'hui on parle de « santé planétaire » pour inclure l'activité économique humaine et sa nécessaire transformation. Et c'est essentiel. L'exploitation des terres, l'urbanisation sont nécessaires aux sociétés humaines. Il n'est pas question de les interdire mais de les adapter dans le respect de la nature.

Nous dépendons donc d'une nature préservée. Mais comment définir un environnement sain ?

D. D.-G. : Il faut considérer deux paramètres. D'abord la richesse de la biodiversité. On sait qu'aujourd'hui, un nombre important d'espèces disparaissent et que les populations d'animaux déclinent du fait de la destruction et de la fragmentation des milieux naturels. L'autre paramètre, ce sont les services rendus : le cycle de l'eau et du carbone, la régulation du climat, celle des pathogènes, la pollinisation, les ressources alimentaires que nous en tirons, tous ces services nécessaires pour notre bien-être dépendent d'un environnement fonctionnel.

B. R. : L'impact de l'humain bouleverse les interactions entre espèces, perturbe la diversité à l'intérieur des écosystèmes. Dans le rapport de 2020 de l'IPBES, nous estimons qu'il y a plus de 1,5 million de virus encore inconnus dont 500 000 à 800 000 qui peuvent affecter l'humain. Le Sras-CoV-2 a circulé d'abord chez les animaux et a continué son cycle au sein de la population humaine. Il est donc important de connaître les modifications d'un écosystème qui ont amené un pathogène à faire muter son cycle de vie pour choisir l'humain.

Les maladies provenant des animaux, les zoonoses, sont-elles vraiment en augmentation ?

B. R. : Oui, c'est le cas. Depuis les années 1940, on voit que les maladies infectieuses sont de plus en plus fréquentes et l'on estime que 75 % de ces maladies sont des zoonoses. La déforestation,

Delphine Destoumieux-Garzon, est directrice de recherche CNRS au laboratoire Interaction hôtes pathogènes et environnement (IHPE : université de Montpellier/CNRS/Ifremer/université de Perpignan-Via Domitia). Elle est l'auteure principale d'une réflexion collective du CNRS sur le concept One Health publiée en 2018 dans *Frontiers in Veterinary Science.*

Benjamin Roche est directeur de recherche à l'Institut pour la recherche et le développement (IRD). Il est l'un des auteurs du rapport sur les liens entre biodiversité et pandémies publié en 2020 par la Plate-forme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les écosystèmes (l'IPBES).

« Il faut construire une coopération scientifique entre médecins, écologues, vétérinaires et épidémiologistes »

Delphine Destoumieux-Garzon

l'urbanisation, l'agriculture intensive amènent la population humaine à être en contact de plus en plus étroit avec la faune sauvage. Le commerce des animaux sauvages a été multiplié par 5 ces quinze dernières années ! En même temps, la perte de biodiversité favorise la transmission des pathogènes. Un milieu diversifié freine le développement des espèces pouvant le mieux disséminer ces pathogènes du fait de la compétition entre espèces. C'est un effet de dilution qui disparaît quand il y a appauvrissement. On a ainsi le cocktail parfait avec des populations humaines de plus en plus exposées à la faune sauvage qui est elle-même de plus en plus infectée.

D. D.-G. : Notre action sur les milieux exerce une pression très forte sur les micro-organismes qui vont les conduire à s'adapter. Et ces mutations peuvent provoquer des « sauts d'hôtes » où un virus devient capable d'habiter un nouvel organisme, ce qui augmente ses chances de transmission.

Le monde scientifique est-il armé pour mieux décrire ces interactions complexes ?

D. D.-G. : Nous avons des communautés — scientifiques notamment — qui n'ont pas l'habitude de collaborer, ne se connaissent pas et parfois n'utilisent pas le même langage. Il faut d'abord apprendre à se parler et définir des objectifs communs. C'est en train de se mettre en place. Cela passe également par l'éducation. Les cursus universitaires doivent introduire des notions d'autres disciplines. Pourquoi ne pas parler d'écologie et d'évolution durant les études de médecine ? Il faudrait également valoriser les chercheurs qui ont entrepris cette démarche.

B. R. : Les systèmes d'évaluation sont très différents d'un domaine scientifique à l'autre. Quand je travaille avec des économistes, je suis pénalisé parce que cette collaboration n'est pas reconnue par ma discipline. Nous devons approfondir nos relations avec les sciences humaines et économiques.

Comment transmettre ces notions aux politiques, aux industriels, aux financiers ?

B. R. : C'est très compliqué. On l'a très bien vu avec la crise du Sras-CoV-2 : seuls les médecins ont été sollicités par les politiques alors que la plupart des épidémiologistes ne sont pas médecins. Les biologistes de l'évolution, les écologues pouvaient aussi contribuer à la compréhension de ce qui arrivait. L'actuelle pandémie devrait favoriser un changement d'état d'esprit. Pour beaucoup, les impacts du réchauffement climatique ou de la perte de biodiversité ne se feront sentir qu'à long terme. Le Sras-CovV-2 montre que les conséquences sont déjà là.

D. D.-G. : Cette crise planétaire a mis la lumière sur l'importance de la coopération internationale — les micro-organismes ne connaissent pas de frontières — et de la coopération intersectorielle. Ça ne peut passer au niveau national que par des coopérations interministérielles. La coopération entre l'OMS, l'OIE et la FAO montre l'exemple. Il faut que le ministère de l'Agriculture parle au ministère de la Santé et au ministère de la Transition écologique. Il faut regarder tous ensemble ce que nous affrontons parce que nous savons que ce n'est pas la dernière crise que nous aurons à gérer.

Comment se préparer à la prochaine pandémie ?

B. R. : La réponse à une pandémie ne peut être que mondiale. Ne vacciner que les riches et pas les pauvres permet aux virus de continuer à circuler. Pour l'anticipation, c'est la même chose. Le point de départ d'une pandémie peut survenir partout dans le monde.

Destruction de l'environnement, maladies émergentes, changement climatique ne sont-ils pas des parties d'une même crise ?

B. R. : Ce ne sont pas trois crises séparées en effet, mais bien une seule qui est celle de notre impact sur les écosystèmes planétaires dont la perte de biodiversité, le changement climatique, les zoo-

LE + NUMÉRIQUE

À VOIR : la version intégrale du débat en vidéo sur notre site **sciav.fr/dialogues**

FAO/RIDVAN VAHAPO

Les déséquilibres de l'environnement associés à la promiscuité et à la concentration d'un grand nombre d'animaux dans les élevages industriels favorisent la transmission des pathogènes.

noses sont les conséquences. Nos réponses sont aujourd'hui trop parcellaires. Un exemple : tout l'argent mis sur le Sras-CoV-2 a été pris sur d'autres programmes si bien que la distribution des moustiquaires pour lutter contre le paludisme en Afrique, par exemple, a pris beaucoup de retard.

D. D.-G. : La réponse au Covid a été très efficace avec la fabrication d'un vaccin en une année seulement. Il faut faire le même effort pour prévenir les prochaines crises, car pour ce qui concerne les maladies infectieuses, la prévention vaut mieux que la réaction. Chaque fois qu'on met les forces en commun, on avance. J'ai l'espoir que ce soit aussi le cas pour le changement climatique, la perte de biodiversité. Mais il faut qu'on puisse s'en saisir avec toutes les compétences scientifiques réunies dans un fort esprit de coopération. Cela émerge, c'est encore trop lent.

(1) Organisation mondiale de la santé; Organisation internationale des épizooties; Organisation des Nation unies pour l'alimentation et l'agriculture; Programme des Nations unies pour l'environnement.

(2) Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement; Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement; Institut de recherche pour le développement.

BRUNO LÉVY

« La pandémie de Covid-19 a mis la lumière sur l'importance de la coopération internationale »

Benjamin Roche

La Recherche
Éthique

PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA *

Les scientifiques doivent-ils être irresponsables ?

Les grands défis contemporains, d'ordre environnemental, sanitaire ou autre incitent les décideurs politiques à solliciter l'avis d'experts scientifiques. Ceux-ci s'engagent alors à répondre aux questions qu'on leur pose et, lorsqu'ils le jugent possible, à proposer des solutions. Le comité scientifique Covid-19 l'illustre à merveille. Alors qu'ils influencent par leurs avis l'action publique, les experts sollicités endossent une part de responsabilité dans les conséquences de cette action. Mais, de quelle nature est cette responsabilité ? À n'en pas douter, ils ont une responsabilité morale, comme tout citoyen, mais cela ne tient pas spécifiquement à leur rôle d'expert. Ils ont aussi, en tant que scientifiques, le devoir d'avertir politiques et citoyens des conséquences matérielles des mesures prises ou de ce qui adviendrait si on ne faisait rien et laissait les choses aller telles quelles. Il en va là de leur responsabilité de scientifiques. Mais, il leur faut surtout assumer une responsabilité épistémique [liée aux connaissances de l'époque], en respectant la déontologie et l'intégrité scientifique, en rejetant le mensonge et en s'abstenant de toute propagande. Cette responsabilité épistémique se distingue de la responsabilité scientifique ; toutefois, les chercheurs ne peuvent éluder ni l'une, ni l'autre.

> « Les experts qui conseillent les décideurs politiques endossent une part de responsabilité »

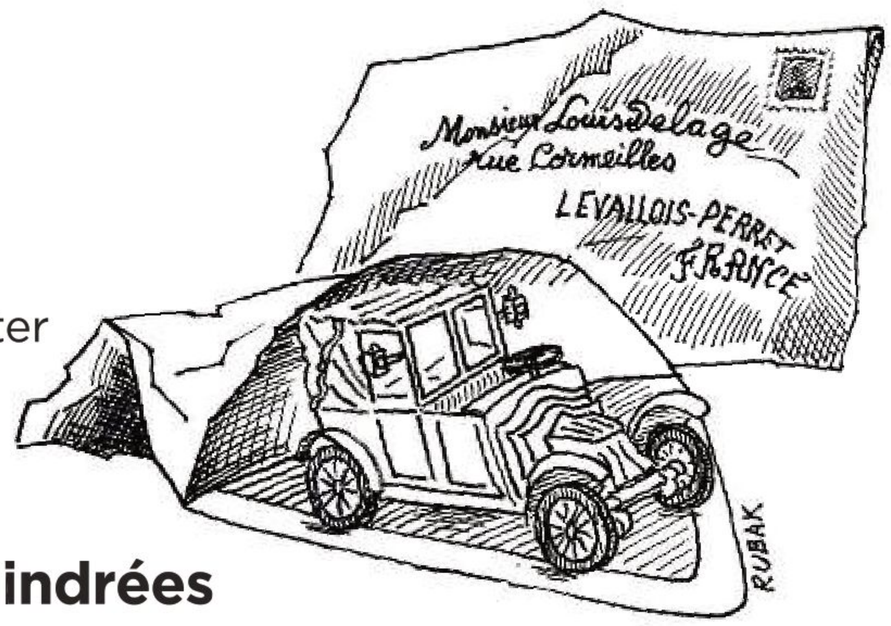
En revanche, de même que les parlementaires sont irresponsables pour les opinions ou les votes qu'ils émettent dans l'exercice de leur fonction, de même, les scientifiques doivent revendiquer une forme d'irresponsabilité politique en cela qu'ils ne sauraient répondre des conséquences sociales des choix qu'ont inspirés leurs avis. À défaut, ils se substitueraient, en qualité d'experts, aux représentants politiques élus, alors que personne n'a voté pour eux. Toutefois, cette irresponsabilité politique doit s'accompagner d'un souci aigu et permanent de responsabilité épistémique. ■

*Président du comité d'éthique du CNRS, professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS).
Dernier ouvrage publié : *Le Mythe de la singularité. Faut-il craindre l'intelligence artificielle ?* Le Seuil, 2017.

PAR PIERRE BERLOQUIN

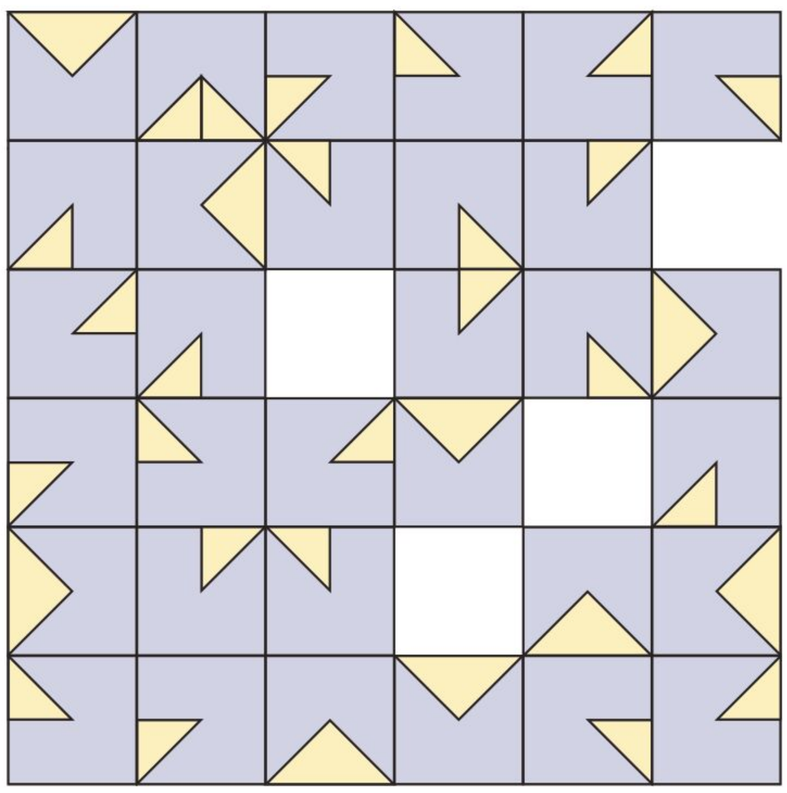
Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.



Un carré de triangles

Quelle logique peut régir la disposition des triangles internes des carrés élémentaires de cette figure et indiquer comment remplir les cases vides ?



La valse des cylindrées

De tout temps, les industriels de l'automobile se sont « espionnés » les uns les autres pour ne pas se laisser distancer. Dans les années 1920, cinq d'entre eux ont décidé de s'entendre en échangeant des automobiles fabriquées par la concurrence, aux fins d'économies. Ce sont Marius Berliet, Émile Mathis, Maurice Sizaire, Louis Delage et Édouard Ballot. Bien entendu, aucun n'a envoyé, ni reçu de voiture de sa propre marque. On a constaté que :
1 - le constructeur qui a envoyé la Ballot n'a pas reçu de Sizaire,
2 - Émile Mathis a envoyé une Delage à Édouard Ballot,
3 - l'industriel portant le nom de la voiture reçue par Maurice Sizaire a envoyé une Ballot au constructeur portant le nom de la voiture envoyée par Maurice Sizaire.
Saurez-vous dire qui a envoyé la Sizaire et à qui il l'a envoyée ?

Mécènes inconnus

... QUI CONNAISSAIENT CES MÉCÈNES, LUC, DENISE, RENÉ.
Saurez-vous percer à jour cette anagramme ?
Les lettres de cette phrase peuvent être réorganisées pour écrire une très célèbre citation de François Rabelais extraire de *Pantagruel*. Laquelle ?

Citations croisées

Reconstituez une phrase de Oscar Wilde à travers une autre de Tristan Bernard.
Sous chaque case vide, le nombre indique de quel mot provient sa lettre.

L'	INEXPÉRIENCE	EST	CE	QUI	PERMET	À	LA	JEUNESSE
1	2		3	4	5	6	7	8 9
D'ACCOMPLIR	**CE**	**QUE**	**LA**	**VIEILLESSE**	**SAIT**	**IMPOSSIBLE**		
10	11	12	13	14	15	16	17	

	8	12	2	17	9	11	5	13	9	11	12	
4	9	16	15	3	9	17	11	13	9	12	8	
11	9	10	17	9	2	15	14	15	9	3	17	6
11	4	5	6	9								

Un carré latin

Ce carré souhaite héberger 7 chiffres différents, de 1 à 7, par ligne et par colonne, tout en exigeant qu'ils forment les sommes indiquées en marge.

		28	7	11	9	14	10	7
15	5			■	■			
12	10				■			
5	16					■		
1	13				■	■	■	
6	12			■				■
25	2		■					
28								

Énigmes Créalude, Pierre Berloquin, Jean-Thierry Garrigues

A vos côtés, pour votre santé !

Depuis 1992, nous vous offrons le meilleur des plantes, vitamines et minéraux, pour une santé chaque jour renforcée !

OFFRE DÉCOUVERTE
dès **5€**

LABORATOIRES ILAPHARM

www.ilapharm.com

**Offre valable 1 mois, 1 seule fois, réservée aux nouveaux clients. Non cumulable avec d'autres offres promotionnelles en cours.*

Tonique veineux
MARRON D'INDE BIO

Active votre circulation sanguine pour des **jambes légères et confortables**.

5€ 45 gélules ~~10,60€~~

Mobilité articulaire
HARPAGOPHYTUM BIO

Conservez des **articulations souples, mobiles** et en bonne santé. *(3)*

5€ 45 gélules ~~10,70€~~

Brûle-graisse
GUARANA BIO

Boostez **l'élimination des graisses et la perte de poids**. *(1), (2), (5).*

6€ 45 gélules ~~11,40€~~

Libido
MACA BIO

Source d'énergie et aphrodisiaque, elle **stimule le désir sexuel**.

6€ 45 comprimés ~~12,40€~~

Os et articulations
SILICIUM ORGANIQUE et Vitamine C

Vitamine C (formation du collagène) et **Silicium** (constituant naturel) pour vos os et cartilages.

7€ 45 gélules ~~14,70€~~

Sommeil
PASSIFLORE BIO

Calmante et apaisante, elle procure **un sommeil de qualité**. Ni accoutumance, ni somnolence.

6€ 45 gélules ~~11,10€~~

Prostate
HUILE DE COURGE BIO

Aide au bon fonctionnement de la **prostate** et de la **vessie**. Pour un **bon confort urinaire**.

5€ 45 capsules ~~10,80€~~

Fatigue nerveuse
MAGNÉSIUM MARIN et B6

Il contribue au bon fonctionnement de votre **système nerveux**.

*(6). Allergène : **poisson**.*

6€ 45 gélules ~~10,70€~~

Minceur
NOPAL BIO

Absorbe une partie des **graisses** et des **sucres ingérés**, limitant ainsi l'apport calorique.

6€ 45 gélules ~~11,70€~~

Vigueur sexuelle
SAFRAN BIO

Le Safran Bio aide à **améliorer l'érection** et **stimule le désir sexuel**. *(2), (4).*

7€ 30 gélules ~~15,60€~~

Vitalité - Immunité
GINSENG SIBÉRIEN BIO

Stimulant et **énergisant**, il aide au bon fonctionnement du **système immunitaire**.

6€ 45 gélules ~~11,70€~~

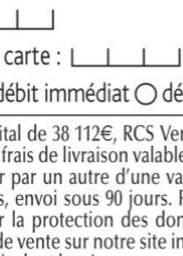
Foie - Draineur
ARTICHAUT - RADIS NOIR BIO

L'artichaut favorise le **fonctionnement du foie et détoxifie**.

6€ 10 ampoules ~~13,50€~~ *(1)*

Capacité sexuelle
TRIBULUS

Elle favorise le **désir**, la **capacité** et les **performances sexuelles** et participe à la bonne santé des organes reproducteurs.



7€ 60 gélules ~~15,60€~~

Un esprit vif
GINKGO BILOBA BIO

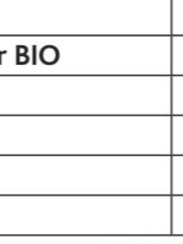
Arbre de jouvence, il favorise votre circulation cérébrale pour **un esprit vif et alerte**. *(2), (8).*

6€ 45 gélules ~~11,00€~~

Articulations
FRÊNE BIO

Pour le bon fonctionnement des articulations.

Gardez le plaisir de bouger !



5€ 45 gélules ~~10,60€~~

Défenses naturelles
ÉCHINACÉA BIO

Aide au bon fonctionnement du système de **défenses naturelles et respiratoire** (bouche et gorge).

6€ 45 gélules ~~11,00€~~

Vos 3 Cadeaux

LE PORTEFEUILLE EN CUIR
OFFERT

***Dim. :** fermé 11,5 x 10 cm, ouvert 22,5 x 10 cm.*
***Couleur :** noir. **Matière ext. :** 100 % cuir.*
***Matière int. :** PU.*

Les Frais de Port
Dès 15€ d'achat
OFFERTS
0€

dès 5€ Tous vos produits
ÉCONOMISEZ PLUS DE 50%

Harpagophytum BIO	~~10,70~~	5,00€
Artichaut - Radis Noir	~~13,50~~	6,00€
Marron d'Inde BIO	~~10,60~~	5,00€
Silicium Organique & Vit. C	~~14,70~~	7,00€
Tribulus	~~15,60~~	7,00€
Mon Portefeuille en cuir		OFFERT
Frais de port	~~5,80~~	OFFERTS
TOTAL	~~70,90~~	30,00€

(1) Déconseillé aux enfants de moins de 12 ans. (2) Déconseillé aux femmes enceintes ou allaitantes. (3) Déconseillé en cas d'ulcère gastrique ou duodénal et de calculs biliaires. (4) Ne pas associer avec des anti-dépresseurs. (5) Contient de la caféine (45 mg par jour). (6) Déconseillé aux insuffisants rénaux. (8) Ne pas associer avec des anti-coagulants. Les éventuelles traces d'allergènes sont indiquées sur l'étiquetage des produits.

OFFRE DÉCOUVERTE SANS ENGAGEMENT - BON DE COMMANDE

Vos coordonnées ☐ M^me ☐ M^r

Nom, Prénom : .....
Adresse : .....
.....
Code Postal : |_|_|_|_|_| Ville : .....
Votre date d'anniversaire : |_|_|_|_|19|_|_|
E-mail* : .....
pour recevoir les **Newsletter ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON**
et des **partenaires d'ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON** **Recommandé pour la livraison.*

Choisissez votre mode de paiement

☐ **Par carte bancaire (débit immédiat uniquement) :**
N°|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
Date d'expiration : |_|_|_|_|
Chiffres inscrits au dos de ma carte : |_|_|_|

Signature :

☐ **Par chèque, je choisis :** ○ débit immédiat ○ débit dans 1 mois à l'ordre des Laboratoires ILAPHARM

NOM DU PRODUIT	RÉF.	QTÉ	PRIX RÉDUIT	TOTAL
Marron d'Inde BIO	PMDB45		5€	
Harpagophytum BIO	PHAB45		5€	
Guarana BIO	PGUB45		6€	
Maca BIO	PMAB45		6€	
Silicium Organique et Vitamine C	PSV45		7€	
Passiflore BIO	PPAB45		6€	
Huile de Courge BIO	PPCB45		5€	
Magnésium Marin et B6	PMM45		6€	
Nopal BIO	PNOB45		6€	
Safran BIO	PSFB		7€	
Ginseng Sibérien BIO	PGSB45		6€	
Artichaut - Radis Noir BIO	PXRAB		6€	
Tribulus	PTR		7€	
Ginkgo Biloba BIO	PGBB45		6€	
Frêne BIO	PFNB45		5€	
Echinacéa BIO	PECB45		6€	
☐ Je reçois **GRATUITEMENT** mon **PORTEFEUILLE** et mon **CATALOGUE**				**OFFERTS**
☐ Ma commande atteint 15€ , **j'économise 5,80€ sur les frais de port**				**OFFERTS**
☐ Ma commande est inférieure à 15€, **je rajoute 5,80€**				
CODE PRIVILÈGE : **CS420**			**TOTAL À RÉGLER**	.....€

Laboratoires ILAPHARM SAS au capital de 38 112€, RCS Versailles B 384 620 878 - 27 rue de Solférino - 92100 Boulogne. Tél Sce client 01.49.09.11.11. Offre et frais de livraison valables en France Métropolitaine. En cas d'indisponibilité de votre cadeau, nous pourrons le remplacer par un autre d'une valeur similaire. Pour recevoir votre cadeau sans commander, joignez un chèque de 5,80€ de frais, envoi sous 90 jours. Photos non contractuelles. Pour exercer les droits que vous confère le Règlement européen sur la protection des données, veuillez nous écrire, téléphoner au 01.49.09.11.11 ou consulter nos conditions générales de vente sur notre site internet. Vous bénéficiez des dispositions de la garantie légale de non-conformité et des vices cachés dont la mise en œuvre et le contenu sont prévus aux articles L. 217-4 et suivants du Code de la consommation. Vous disposez d'un délai de rétractation de 30 jours après livraison de votre commande pour retourner les produits pour remboursement ou échange sans pénalités, sauf frais de retour. Traitée dans les 24h suivant sa réception, vous recevez votre commande après 72h d'acheminement environ. Les Laboratoires ILAPHARM adhèrent à la fédération du e-commerce et de la vente à distance (FEVAD) et au service de médiation du e-commerce (60 rue de la Boétie - 75008 Paris-relationconso@fevad.com). Pour votre santé, mangez au moins 5 fruits et légumes par jour, consultez www.mangerbouger.fr. Conditions générales de vente : www.ilapharm.com/conditions-generales-de-vente.html Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres des Laboratoires Ilapharm, cochez cette case □ ou écrivez-nous. Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres de nos partenaires (commerciaux ou organismes) : cochez cette case □ ou écrivez-nous.

NOS GARANTIES :

PAYEZ DANS 1 MOIS
*Envoyez votre **réglement par chèque**, il ne sera encaissé que dans 1 mois.*

Charte Qualité fevad · synadiet · Traitement Rapide 24h COLIECO

POUR COMMANDER :

Par internet :
www.ilapharm.com

Par téléphone :
01 49 09 11 11
Du lundi au vendredi : 9h-13h et 14h-18h

Par courrier :
Laboratoires ILAPHARM
C/O BSL, BP 60475, 35171 BRUZ CEDEX

Les contenants en plastique (PE, PP, PEHD), verre, papier, carton, les couvercles des flacons plastiques ainsi que tous les documents papiers sont recyclables.

Solgardez votre sommeil !

Le flacon d'or Solgar contient de la mélatonine
qui contribue à réduire le temps d'endormissement
et les effets du décalage horaire.

En pharmacies et magasins de diététique.

SOLGAR
Since 1947

Pour votre santé, mangez au moins cinq fruits et légumes par jour. www.mangerbouger.fr

Solgar.fr